

Technická univerzita v Liberci

Ústav zdravotnických studií
Biomedicínská technika

VLIV MAGNETICKÉHO POLE NA MIKROORGANISMY

THE INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD TO
MICROORGANISM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

studijní program: B 3944 Biomedicínská technika

studijní obor: 3901R032 Biomedicínská technika

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Marian Bartoň
Osobní číslo: Z09000001
Studijní program: B3944 Biomedicínská technika
Studijní obor: Biomedicínská technika
Název tématu: Vliv magnetického pole na mikroorganismy
Zadávající katedra: Ústav zdravotnických studií

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíle:

Vypracovat rešerši na téma možnosti elektromagnetického pole v biologii (vliv na mikroorganismy) a následně zhodnotit možné užití v průmyslu.

Postup:

Zmapování magnetostatického pole permanentních magnetů.

Teoretická východiska:

Seznámení se s problematikou magnetostatického pole a vypracování teorie.

Metoda: kvantitativní

Technika: Pozorování, vyhodnocování vzorků z hlediska fyzikálních a biologických hledisek a následné zpracování získaných údajů.

Forma zpracování: tištěná, elektronická


Rozsah grafických prací: např. 10 tabulek a 10 grafů
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 70 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

HAŇKA, L. : Teorie elektromagnetického pole, SNTL, Praha 1975
KATO, M. : Electromagnetics in Biology, Springer 2006
BROŽ, J. : Elektřina a magnetismus, SPN, Praha
MIKOLANDA, T., RICHTER, A. : Hallův jev, Hallový senzory a jejich aplikace, V Liberci : Technická univerzita, 2006
SEDLAK, B., ŠTOLL, I. : Elektřina a magnetismus ,Academia, Praha 2002

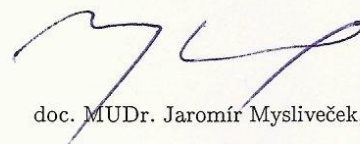
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Truhlář, Ph.D.
 Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. září 2010
Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2012

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
rektor



doc. MUDr. Jaromír Mysliveček, Ph.D.
ředitel



Student
Marian BARTOŇ
Z09000001
Dlouhý Most 78
463 12 Liberec

Vyřizuje: Bc. K.Pecháčková/485 353 774

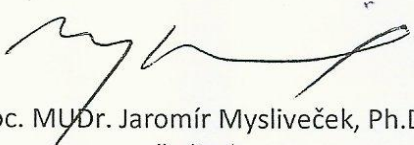
V Liberci dne 10. května 2012
č.j.: 12/8518/0249-02

Vyjádření k žádosti o ponechání tématu a prodloužení odevzdání bakalářské práce

Vážený studente,

na základě Vaší žádosti ze dne 26.4.2012, zaevidované pod č.j.: 12/8518/0249-01, Vám sděluji, že **souhlasím** s ponecháním tématu bakalářské práce „Vliv magnetického pole na mikroorganismy“ a zároveň **souhlasím** s prodloužením termínu odevzdání bakalářské práce do 30.6.2013.

S pozdravem


doc. MUDr. Jaromír Mysliveček, Ph.D.
ředitel



Ž Á D O S T

Jméno: Marian Bartoň

Ročník : 3. **Osobní číslo:** Z09000001

Datum narození: 16. 03. 1989

Studijní obor: Biomedicínská technika

Prezenční studium

Adresa trvalého bydliště: Dlouhý Most 78, 463 12, Liberec

Adresa určena pro doručování: Dlouhý Most 78, 463 12, Liberec

Číslo telefonu : 602979414

E – mail: barton.marian@gmail.com

Odůvodnění

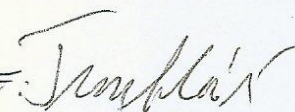
Žádám o zachování témat^u bakalářské práce „Vliv magnetického pole na mikroorganismy“ a o posunutí termínu odevzdání na školní rok 2012/2013, vedoucí práce zůstává stejný

(do 30.6.2013)

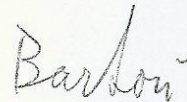
V Liberci

studenta

datum 25.4.2012

VEDOUcí PRÁCE: 
podpis

Prohlašuji, že jsem pravdivě vyplnil/a veškeré údaje.


Bartoň

VYJÁDŘENÍ ÚSTAVU

Rozhodnutí ředitele:



4.7.2012



Rozhodnutí rektora:

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 30.11.2012

Podpis:

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Truhlářovi, Ph.D za jeho odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce, Ing. Barboře Kracíkové, za její pomoc při experimentech v laboratořích včetně poskytnutí velmi cenných rad a informací. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Lucii Křiklavové za pomoc při získávání informací v oblasti mikrobiologie.

.....

Anotace:

BARTOŇ, MARIAN. *Vliv magnetického pole na mikroorganismy*, Ing. Martin Truhlář, Liberec: Ústav zdravotnických studií, Technická univerzita v Liberci, 2012, počet stran , počet příloh, Bakalářská práce

Cílem práce je zmapování magnetického pole permanentních magnetů, zpracování rešerše na toto téma. Zkoumání vlivu magnetostatického pole na mikroorganismy. Sledování přímého vlivu magnetického pole na množení, životaschopnost a schopnost zpracovávání živin. Sledování adaptace vzorových bakterií po odstranění magnetického pole.

Klíčová slova: Magnetické pole, bakterie, Escherichia coli, Rhodococcus erythropolis, permanentní magnety

Abstract:

BARTOŇ, MARIAN. *The influence of magnetic field to microorganism*, Ing. Martin Truhlář, Liberec:: Institute of Health Studies, Technical University of Liberec, 2012, 51 pp., 4 attachments, Bachelor Degree Thesis

The purpose this bechelor is maping magnetic field of permanetn magnets, recherche of this theme. Research the influence of magnetic field to microorganism. Monitoring the direct influence of magnetic field to multiplication, viability and processing of nutrients. Monitoring ability adaptation model bactery after removal magnetic field.

Klíčová slova: Magnetic field, bactery, Escherichia coli, Rhodococcus erythropolis, permanent magnets

Obsah

Seznam obrázkových příloh	8
Seznam zkratk a symbolů	9
1 Úvod	10
Teoretická část	11
2 Magnetické pole	11
2.1 Magnetismus obecně	11
2.2 Základní dělení magnetického pole	12
2.3 Magnetismus v permanentních magnetech	12
2.4 Vlastnosti neodymových magnetů Nd2Fe14B	13
2.5 Dělení materiálů z hlediska magnetismu	14
2.6 Hysterezní smyčka	15
2.7 Magnetické vlastnosti a veličiny	17
2.8 Hallův jev	19
3 Escherichia coli	21
3.1 Gram negativní bakterie	23
3.2 Vliv magnetického pole na Escherichia coli	24
4 Rhodococcus erythropolis	27
4.1 Gram pozitivní bakterie	29
5 Využití magnetického pole v průmyslu	30
Praktická část	32
6 Námi sledované magnetické pole	32
6.1 Permanentní magnety	32
6.2 Petriho misky s magnety	32
6.3 „podkova“	33
7 Escherichia coli v praxi	36
7.1 Odběr bakterií do baňky	36
7.2 Vliv SMF na dynamiku růstu a množení buněk	36
7.3 Adaptace bakterií	38
7.3.1 Ředění	39
7.3.2 Vysévání	40
8 Rhodococcus erythropolis v praxi	40
8.1 Spektrofotometrie	40
8.1.1 Odběr na spektrofotometr	41
8.2 Práce se vzorky Rhodococca	42
8.2.1 Koncentrace fenolu (intenzita pole 80, 370mT)	42
8.2.2 Absorbance (intenzita pole 80, 370mT)	44
8.2.3 Adaptace – koncentrace fenolu - po vyjmutí z magnetického pole (intenzita pole 80, 370mT)	44
8.2.4 Adaptace – absorbance – po vyjmutí z magnetického pole (intenzita pole 80, 370mT)	45

8.2.5	Koncentrace fenolu (intenzita pole 20, 210mT)	46
8.3	Rhodococcus na plotnách	48
9	Použitá zařízení.....	51
10	Závěr	53
	Soupis bibliografických citací.....	53
	Soupis citací zdrojů obrázků	55

Seznam obrázkových příloh

Obrázek 1: Cívka protékaná stejnosměrným elektrickým proudem, znázorněné siločáry pomocí kovových pilin.	11
Obrázek 2: Možné uspořádání magnetických momentů, paramagnetické(vlevo), feromagnetické (vpravo)	15
Obrázek 3 : Příklady hysterezní smyčky	17
Obrázek 4 : Ilustrace Hallova jevu, který počítá s takzvaným konvenčním proudem	20
Obrázek 5 : Escherichia coli pod mikroskopem	23
Obrázek 6 : Stěna gram negativních bakterií	24
Obrázek 7 : TEM snímky, viditelné poškození na snímcích d, e, f, snímky a, b, c byly bez poškození, nebyly vystaveny SMF	25
Obrázek 8 : Viz Obrázek 8, snímky SEM	26
Obrázek 9 : Rhodococcus erythropolis	28
Obrázek 10 : Stěna gram pozitivních bakterií	29
Obrázek 11 : Simulace pole magnetu (400mT),Comsol	32
Obrázek 12 : „Podkova“ – ocelový přípravek pro zesílení a homogenizaci magnetického pole	33
Obrázek 13 : Simulace magnetického pole, celkový pohled, Comsol	34
Obrázek 14: Simulace magnetického pole, detail,Comsol	34
Obrázek 15 : Simulace magnetického pole, pohled z boku, Comsol	34
Obrázek 16 : Měření magnetického pole pomocí jednoosé sondy	35
Obrázek 17 : Rekonstrukce mapy magnetického pole, Matlab	35
Obrázek 18: Graf 1: Vliv magnetického pole na množení bakteriální populace (30mT)	37
Obrázek 19 : Graf 2 : Adaptace bakterií po vyjmutí z magnetického pole po 3 hodinách	38
Obrázek 20 : Graf 3 : Adaptace bakterií po vyjmutí z magnetického pole po 20 hodinách	39
Obrázek 21 : Postup při ředění vzorku	39
Obrázek 22 : Spektrofotometr – princip	41
Obrázek 23 : Graf 4 : Koncentrace fenolu ve vzorcích (0, 80, 370mT)	43
Obrázek 24 : Graf 5 : Absorbance ve vzorcích (0, 80, 370mT)	44
Obrázek 25 : Graf 6 : Koncentrace fenolu (adaptace, 0, 80, 370mT)	45
Obrázek 26 : Graf 7 : Absorbance u vzorků (adaptace, 0, 80, 370mT)	46
Obrázek 27 : Graf 8 : Koncentrace fenolu (0, 20, 210mT)	47
Obrázek 28 : Graf 9 : Absorbance (0, 20, 210mT)	47
Obrázek 29 : Umístění vzorků v „podkově“	48
Obrázek 30 : Umístění slepých vzorků	48
Obrázek 31 : Rhodococcus erythropolis, 6.ředění, slepý test, 360 min	49
Obrázek 32 : Rhodococcus erythropolis, 6.ředění, vliv magnetu test, 120 min	49
Obrázek 33 : Příklad špatně rozmíchaného vzorku při vysévání	50

Seznam zkratek a symbolů

Symbol	Veličina	Jednotka
<i>Br</i>	remanentní magnetická indukce	$T; Am^{-1}$
<i>Hk</i>	koercitivita	$T; Am^{-1}$
μ	permeabilita prostředí	Hm^{-1}
<i>B</i>	magnetická indukce	$T; Am^{-1}$
<i>H</i>	intenzita magnetického pole	$T; Am^{-1}$
ϕ	magnetický indukční tok	$Wb; Tm^2$
<i>F</i>	síla	<i>N</i>
<i>q</i>	náboj	<i>C</i>
<i>v</i>	rychlost	<i>m/s</i>
<i>Uh</i>	Hallovo napětí	<i>V</i>
<i>a</i>	délka	<i>m</i>
<i>I</i>	proud	<i>A</i>
<i>d</i>	šířka	<i>m</i>
<i>S</i>	plocha	m^2
<i>n</i>	objemová hustota	m^{-3}
<i>i</i>	proudová hustota	Am^{-2}
<i>EPEC</i>	enteropatogenní <i>Escherichia coli</i>	
<i>SMF</i>	Statické magnetické pole	
<i>CFU</i>	colony forming unit	
<i>TEM</i>	transmission electron microscopy	
<i>STEM</i>	scanning transmission electron microscopy	
<i>PCB</i>	polychlorovanýdifenil	
<i>DDT</i>	dichlordifenyltrichloethan	
<i>MKP</i>	metoda konečných prvků	
<i>BSM</i>	bacterial standard medium	
<i>Abs</i>	absorbance	
<i>CO₂</i>	oxid uhličitý	
<i>H₂O</i>	voda	

1 Úvod

Tato bakalářská práce vznikla jako část výzkumného projektu na vzorových bakteriích. Celý projekt se zabýval vlivem magnetického pole na mikroorganismy, na buněčné upoutání bakterií a následného zlepšení účinnosti biologické dekontaminace odpadních vod. Mým úkolem bylo spolupracovat s Ing. Kracíkovou při počátečních výzkumech magnetického pole a jeho vlivu na bakterie v laboratorních podmínkách.

Vlastní projekt vychází z potřeby vývoje takových modifikací těchto bioremediací, které by přinesly jak vyšší účinnost procesu, tak možnost polytaxonické multiplikace degradativní funkce vůči širší škále přítomných polutantů, bez potřeby na nákladné změny reaktorové vybavenosti a potenciálních komplikací, které přináší schválení nového technologického prostředku (např. použití geneticky modifikovaných biodegradérů).

Původní projekt je kombinací mnoha oborů materiálového inženýrství, textilních technologií, mikrobiologie, bioinženýrství, analytické chemie, matematického zpracování dat a další. Proto jsou realizačním výstupem dílčí poznatky těchto disciplín. Při čemž moje práce byla zaměřena konkrétně na zkoumání vlivu magnetického pole na bakterie rodu *Escherichia coli* a *Rhodococcus erythropolis*.

Na těchto bakteriích jsme zkoumali jejich schopnost adaptace, zatímco byly jistou dobu vystaveny magnetickému poli. Dále jsme zkoumali vliv na jejich množení a růst pod přímým vlivem magnetických polí různých intenzit včetně situace, kdy byla po několika dnech tato pole odstraněna.

Teoretická část

2 Magnetické pole

Magnetické pole je fyzikální pole, které se projevuje silovým působením na okolí. Jeho zdrojem jsou pohybující se elektricky nabitě částice (elektrický proud protékající vodičem) nebo permanentní magnety, ve kterých jsou vázané elektrické proudy.

Magnetické pole je součástí elektromagnetického a nelze je od sebe jednoznačně oddělit. Neustále vzniká interakce, jedno vytváří druhé a naopak. Jejich vlastní propojení vyjádřil James Clerk Maxwell ve svých rovnicích. Můžeme pouze uvažovat oddělené magnetické pole, v okamžiku, kdy použijeme jako jeho zdroj permanentní magnety. V tom případě lze elektrickou složku zanedbat.

2.1 Magnetismus obecně

Elektromagnetické pole je složeno ze dvou složek, ze složky magnetické a elektrické. Jak již bylo zmíněno, pokud se bavíme o elektromagnetismu, nelze tento pojem rozdělit na dvě různé složky. Pohybem magnetického pole vzniká elektrické a naopak. Jako příklad si můžeme uvést cívku protékající elektrickým stejnosměrným proudem. Uvnitř cívky bude vznikat magnetické pole, což je názorně vidět na obrázku (Obrázek 1) Pokud do cívky umístíme magnet a budeme jím pohybovat, budeme generovat elektrický proud, který můžeme na cívce změřit.



Obrázek 1: Cívka protékaná stejnosměrným elektrickým proudem, znázorněné siločáry pomocí kovových pilin. [1]

2.2 Základní dělení magnetického pole

a) *Prostorové rozložení*

Na základě prostorového rozložení magnetického pole ho lze rozdělit na *homogenní* a *nehomogenní*. Homogenní pole je takové, ve kterém je hodnota magnetické indukce konstantní velikosti. Pokud tak není, pole je nehomogenní.

b) *Časová závislost*

Pokud nebude magnetické pole časově stálé a neměnné, mluvíme o poli *nestacionárním*. Jako příklad nestacionárního magnetického pole uveďme vodič protékaný střídavým proudem s proměnlivou amplitudou. V závislosti na velikosti elektrického proudu se mění intenzita magnetické indukce.

V případě, kdy je magnetické pole časově neměnné, hovoříme o poli *stacionárním*. Jedná se o případ, kdy vodičem bude protékat stejnosměrný proud o konstantní velikosti. Speciálním případem stacionárního pole jsou permanentní magnety, poté mluvíme o poli magnetostatickém.

2.3 Magnetismus v permanentních magnetech

Magnetismus v permanentních magnetech je dán vlastním pohybem elektronů, jež jsou nosičem elektrického náboje. Jejich pohyb (spinová rotace a obíhání kolem jádra atomů) vytváří elementární magnetické momenty. Pokud jsou vlastní elementární náboje nahodilé, neuspořádané, dochází k vyrušení všech vnitřních magnetických sil a látka není zdrojem magnetického pole. Pokud ale dosáhneme uspořádání jednotlivých magnetických momentů souhlasným směrem, stane se daná látka magnetická.

Zmagnetování různých látek si lze vysvětlit silovým působením vnějšího magnetického pole, které ovlivnění pohyb elektronů a jejich spin v dané látce, tím i orientace jejich elementárních magnetických momentů. Pokud odstraníme námi generované magnetické pole, tok elektronů se může vrátit do původního nahodilého, neuspořádaného stavu, či zůstane ovlivněn naším polem. Poté mluvíme o látkách zmagnetovaných.

Magnetické pole lze vytvořit v jakémkoli prostředí, ale v závislosti na magnetických vlastnostech prostředí se mění magnetické indukce. Různá prostředí reagují zcela odlišně na přítomnost vnějšího magnetického pole. Tato reakce je závislá na různých faktorech, jako je třeba molekulární či atomová struktura materiálu.

Magnety jsou schopny vyzařovat magnetické pole díky svým vlastnostem. Mají vysokou koercivitu a remanenci. Tyto dvě vlastnosti zaručují to, že pokud budou obrobené nemagnetické polotovary magnetů vloženy do silného magnetického pole, uchovávají si magnetické vlastnosti i po odstranění tohoto pole.

2.4 Vlastnosti neodymových magnetů $Nd_2Fe_{14}B$

V porovnání s klasickými feritovými magnety jsou mnohem výkonnější, mají vyšší koercivitu a remanenci.

a) *mechanické vlastnosti*

Magnety jsou tvrdé a křehké, proto se před vlastním zmagetování opracovávají diamantovými nástroji, lze je brousit, dělit či je řezat vodním paprskem. Hustota dosahuje 7,5g/cm³ u NdFeB a 8,5g/cm³ u SmCo. U magnetů zalitých plastem je možné ještě soustružení, frézování, či vrtání a to tvrdkovovým nářadím, oproti sintrovaným magnetům.

b) *Chemické vlastnosti*

Nemagnetické polotovary magnetů ze vzácných zemin ihned po opracování vykazují stejný stav jako jiné kovové materiály, jako typický příklad uveďme lesk. Magnety jsou odolné vůči alkalickému prostředí, ale v kyselém korodují a rozpouštějí se. Neodymové magnety oxidují a proto je nezbytná úprava povrchu povlakováním. Odolnost sloučenin vůči korozi lze ovlivnit přísadami.

Magnetické vlastnosti jsou uvedeny v materiálových listech výrobce, teplotní křivka, reverzibilní ztráty v závislosti na teplotě.

V tabulce vlastností magnetu. V našem případě magnety N42M [2]

typ	pracovní	remanence			
materiálu	teplota	Br(T)		Br(kG)	
		Max.	Min.	Max.	Min.
N42	≤ 80	1.35	1.30	13.5	13.0

koercivita		vnitřní koercivita		hustota energie			
bHc(kA/m)	bHc(Oe)	jHc(kA/m)	jHc(Oe)	(BH)max(KJ/m ³)		(BH)max(MGOe/m ³)	
				Max.	Min.	Max.	Min.
≥ 836	≥ 10.5	≥ 955	≥ 12	350	318	44	40

2.5 Dělení materiálů z hlediska magnetismu

Materiály a prostředí můžeme rozdělit dle relativní permeability (μ_r)na:

a) *diamagnetické* ($\mu_r < 1$)

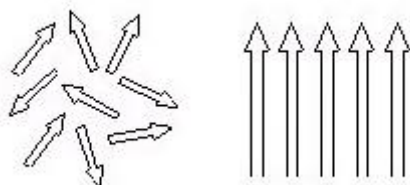
Toto prostředí magnetické pole lehce zeslabuje, jako příklad uveďme vodu, inertní plyny, rtuť, zinek, plasty, supravodiče a další.

b) *paramagnetické* ($\mu_r > 1$)

Atomy tohoto prostředí mají ve valenční vrstvě méně než 4 elektrony a vnější magnetické prostředí je jimi mírně zesilováno, jako příklad uveďme plynný kyslík, paladium, vanad, hořčík, sodík, různé přechodné kovy, aktinidy a další.

c) *feromagnetické* ($\mu_r \gg 1$) *řádově 100 – 100 000x*

Vnější magnetické pole je tímto prostředím zesilováno, vlastní magnetické momenty jsou nahodile uspořádány a nejsou magnetické, vnější magnetické pole natočí celé magnetické domény, což se projevuje velkým zesílením magnetického pole a zpravidla i zmagnetováním materiálu. Tyto látky se mohou přeměnit v paramagnetické například při dosažení Curieovy teploty a jejich předchozí zmagnetování je zrušeno. Mezi tyto látky řadíme železo, kobalt, nikl, gadolinium, jejich slitiny a další.



Obrázek 2: Možné uspořádání magnetických momentů, paramagnetické(vlevo), feromagnetické (vpravo) [3]

2.6 Hysterezní smyčka

Hysterezní smyčka nám graficky demonstruje závislost magnetické indukce (\vec{B}) a intenzity magnetického pole (\vec{H}) v závislosti na vlastnostech dané látky.

Ke zjednodušení vysvětlení si uvedme příklad hysterezní smyčky pro dlouhou válcovou cívku s feromagnetickým jádrem. Pokud budeme v uvažované cívce zvyšovat proud z nenulové hodnoty, bude se magnetická indukce zvyšovat v závislosti na zvyšující se intenzitě magnetického pole.

Křivka s označením **I** na obrázku (3) odpovídá křivce prvotní magnetizace. To znamená, že magneticky neutrální předmět byl vložen do magnetického pole, v našem případě do válcové cívky protékané elektrickým proudem. Se zvyšujícím se proudem v cívce a zároveň se zvyšující se intenzitou magnetického pole \vec{H} uvnitř cívky se zvyšuje i magnetická indukce. Postupujeme po grafu z bodu *O*, dokud se nedostaneme do bodu *K*, jež odpovídá magnetickému nasycení látky. V okamžiku nasycení jsou všechny magnetické domény souběžně uspořádány ve směru vektoru intenzity magnetického pole \vec{H} . V okamžiku, kdy začneme zmenšovat intenzitu magnetického pole, v našem případě, snižováním proudu v cívce, budeme se posouvat po křivce *KL*. V okamžiku kdy je intenzita magnetického pole nulová a zůstane nám zbytková (remanentní) magnetická indukce \vec{B}_r , hovoříme o zmagnetizované látce, či tělese. Změníme-li vektor intenzity magnetického pole, obrátíme směr proudu v cívce, a budeme ho nadále zvětšovat (v opačném směru než byl původní), velikost magnetické indukce se bude zmenšovat.

V okamžiku dosažení hodnoty intenzity magnetického pole $\overrightarrow{H_k}$ mluvíme o koercitivní magnetické síle, síla potřebná k demagnetizaci, snížení či zrušení magnetické indukce. Pokud budeme pokračovat ve zvyšování intenzity elektrického proudu, dosáhne bodu nasycení N . V ten okamžik jsou všechny magnetické domény zmagnetovány opačně, než byly v bodě K .

Poté budeme intenzitu magnetického pole snižovat, až se dostaneme do bodu P , kde obrátíme intenzitu magnetického pole, opět změním směr proudu v cívice, až se dostaneme do bodu K , čímž uzavřeme hysterezní smyčku.

Hysterezní smyčka ($KLMNOPQK$) popisuje magnetickou hysterezi. Díky hysterezní smyčce jsme schopni určit hodnoty $\overrightarrow{B_r}$ (remanence – zbytkové magnetizace) a $\overrightarrow{H_r}$ (koercitivity). Proto je důležitou charakteristikou feromagnetických látek.

Látky lze dle tvaru hysterezní smyčky rozdělit na dvě základní skupiny

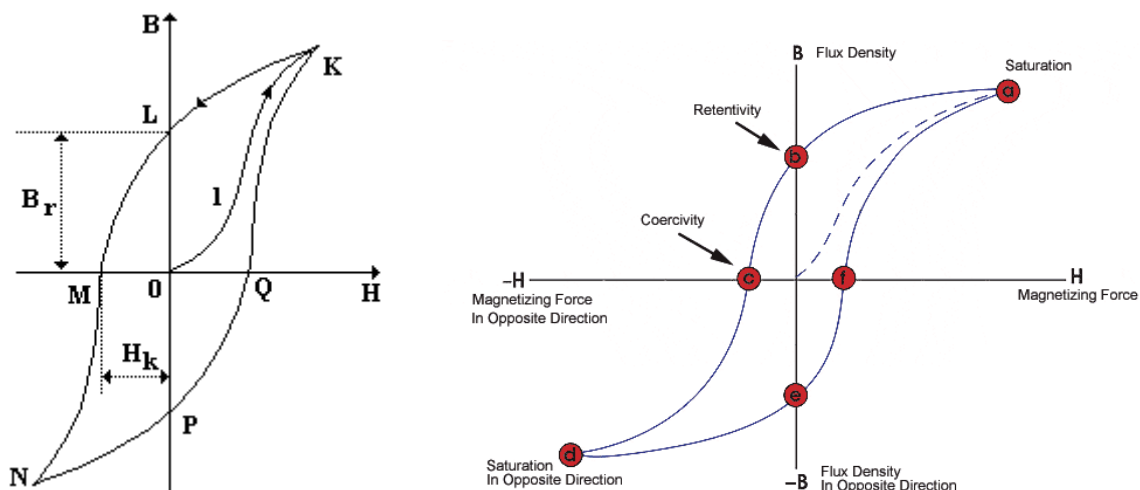
a) ***magneticky tvrdé***

Mají hysterezní smyčku širokou (vysokou hodnotu $\overrightarrow{B_r}$) a po ukončení působení vnějšího magnetického pole zůstávají nadále zmagnetovány a jsou, nebo se chvilí chovají se jako permanentní magnety (slitiny železa a vzácných kovů, ocel s vysokým obsahem uhlíku).

b) ***magneticky měkké***

Jejich hodnota $\overrightarrow{B_r}$ je nízká, smyčka je úzká, jsou lehko zmagnetovatelné a po vymizení vnějšího magnetického pole jejich vlastní magnetické pole téměř zaniká (magnetofonové pásky, VHS, diskety).

Vysoká remanence je využívána u záznamových médií, jako jsou magnetické pásky či disky. Záznam vzniká zmagnetováním jednotlivých zrněk materiálu a je žádoucí aby si svůj stav uchovaly i po vymizení magnetického pole. Nízká remanence je naopak žádoucí u různých relé, jader elektromagnetů či tlumivek, kde se za pomoci střídavého proudu rychle přemagnetovávají, a vysoká remanence způsobuje nechtěné ztráty.



Obrázek 3 : Příklady hysterezní smyčky [4] [5]

2.7 Magnetické vlastnosti a veličiny

a) *Intenzita Magnetického pole (\vec{H})*

Vektorová fyzikální veličina vyjadřující mohutnost magnetického pole v závislosti na faktorech vytvářejících toto pole, např. elektrický proud, a nezávisle na parametrech prostředí.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu_r} [Am^{-1}]$$

b) *Magnetická indukce (\vec{B})*

Vektorová fyzikální veličina vyjadřující silové účinky magnetického pole na pohybující se částice s nábojem.

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{(qv)} = \mu H [T, Hm^{-1}, Am^{-1}]$$

c) *Magnetický tok (Φ)*

Vektorová fyzikální veličina vyjadřující úhrnný tok magnetické indukce procházející danou plochou, kolmá na směr orientace siločar.

$$\Phi = \vec{B} \vec{S} [Wb, Tm^2]$$

d) **Koercivita** (\vec{H}_r)

Schopnost látky odolávat vnějšímu magnetickému zdroji při zachování vlastní magnetické indukce, velikost intenzity magnetického pole nutká ke zrušení magnetické síly zmagnetované látky

Skutečná – magnetické pole, při kterém je indukce v magnetu nulová

Vnitřní – intenzita pole, při kterém je celková polarizace nula (vektory polarizace individuálních domén se vzájemně ruší)

e) **Remanence** (\vec{B}_r)

Schopnost udržení zbytkové magnetizace po odstranění vnějšího magnetického pole.

f) **Permeabilita prostředí** (μ)

Skalární veličina popisující prostupnost magnetického pole v prostředí.

$$\mu = \vec{B}/\vec{H} [Hm^{-1}, TAm^{-1}]$$

relativní permeabilita vakua: $\mu_r = 4\pi \cdot 10^{-7} [TAm - 1]$

g) **Spin**

Vnitřní moment hybnosti elementární částice

2.8 Hallův jev

Hallův jev vzniká, pokud v magnetickém poli o indukci B protéká proud, pohybují se nabitě částice. Mají náboj q a rychlost v , působí na ně Lorenzova síla (rovnice 1,2), která je kolmá k rovině tvořenými vektory \vec{B} a \vec{v} , orientovaná v pravotočivém pohybu šroubu při otáčení od \vec{v} k \vec{B} .

$$\vec{F} = q(\vec{v}\vec{B}) \quad (1)$$

$$F = qvB\sin\alpha \quad (2)$$

Kde α je úhel mezi vektory \vec{B} a \vec{v} . Maximální hodnoty nabývá v případě, kdy je $\sin\alpha$ maximální, což znamená že α je 90° , nositelé náboje se pohybují kolmo k magnetické indukci B .

Základní odvození lze demonstrovat na příkladu kovu, kde jsou nositeli náboje elektrony s nábojem $q=e=-1,6*10^{-19}C$. Představme si vodič tvaru tenkého pásu, obrázek 4, tloušťky d a šířky a . Umístěme ho do homogenního magnetického pole orientovaného ve směru tloušťky, viz obrázek 4, kde je souřadná soustava. Směr osy Z je přiřazen magnetickému poli o indukci \vec{B} . Ve směru osy X teče konstantní proud I , tudíž se elektrony pohybují konstantní rychlostí \vec{v} ve směru záporné osy X .

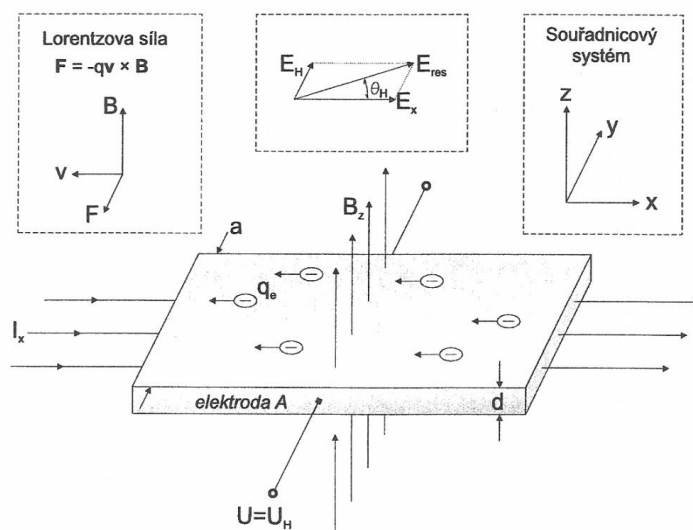
Elektrony jsou ovlivněné Lorentzovou silou, která je vychyluje ve směru záporné osy Y a na ohraničující ploše vodiče (kolmé k ose Y , elektroda A) vytvářejí záporný náboj. Elektroda B je o elektrony ochuzena a nabíjí se stejně velkým kladným nábojem. Mezi elektrodami vzniká elektrické pole intenzity \vec{E}_h mířící v záporném směru osy Y . Toto elektrické pole působí proti Lorentzově síle (2). Po velmi krátké době vznikne rovnováha elektrické a magnetické síly a dojde k ustálení stavu.

$$e\vec{E}_h = e\vec{v}\vec{B} > \vec{E}_h = \vec{v}\vec{B} \quad (3)$$

To, že mezi elektrodami, ve směru záporné osy Y , naměříme napětí je způsobeno indukovaným elektrickým polem. Toto příčné napětí je Hallovým napětím U_h , které lze vypočítat z rovnice

$$U_h = a\vec{E}_h = a\vec{v}\vec{B} \quad (4)$$

kde a vzdálenost mezi elektrodami (šířka vodiče).



Obrázek 4 : Ilustrace Hallova jevu, který počítá s takzvaným konvenčním proudem [6]

Rychlost elektronů, vystupující v rovnici (4) nelze přímo měřit, pouze odhadovat. Snadno ale změříme protékající elektrický proud I , pro který platí následující rovnice (5)

$$I = Si = adi = adqnv \quad (5)$$

kde $S=ad$ je příčný průřez vodiče a i je proudová hustota. Z rovnice (5) lze vypočítat rychlost elektronů $v=I/(adqn)$ a po dosazení do rovnice (4) získáme praktický výraz pro Hallovo napětí

$$U_H = avB = \frac{aBI}{adqn} = \frac{IB}{qnd} = \frac{IB}{end} \quad (6)$$

kde, jak bylo již zmíněno, I je proud tekoucí vzorkem, \vec{B} je magnetická indukce magnetického pole rovnoběžného s tloušťkou vodiče, d je tloušťka vodiče, $q=e=-1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ je náboj elektronu a n jejich objemová hustota či koncentrace.

Pokud jsou nositeli náboje elektrony, je Hallovo napětí záporné. Pokud jsou nositeli „díry“, je Hallovo napětí kladné.

3 **Escherichia coli**

Patří do čeledi Enterobacteriaceae, vyskytují se jako kolonizátoři ve střevech teplokrevných živočichů včetně člověka, nacházejí se v půdě, vodě i na rostlinách. Další známé jsou například rody *Salmonella*, *Shigella* a pro nás více zajímavý rod *Escherichia*. Člověku je prospěšná, protože produkuje kolociny (antibiotický účinek), které zabraňují rozšíření patogenních bakterií. Dále se podílí na výrobě vitamínů (například vitamín K). Endopatogenní *Escherichia coli* (EEC) způsobuje průjemová onemocnění.

Výzkumy na bakteriích rodu *Escherichia coli* jsou prováděny, protože její získání není nikterak složité a množení taktéž ne. Patří mezi nejvíce prozkoumané mikroorganismy a je používána jako modelový organismus při genetických, biochemických i fyziologických výzkumech a studiích. Je prvním druhem, u kterého byla pozorována a prozkoumána konjugace buněk a předání genetického materiálu. Podrobně byly prozkoumány chromozomy této bakterie i jejich bakteriofágy.

Escherichia coli jsou gramnegativní nesporotvorné bakterie tvořící tyčinky. Na povrchu buňky se vyskytují dva druhy fimbrií. Díky prvnímu typu se dokáží přichytit na hostitelskou sliznici a posléze kolonizovat jeho střevo. Slouží také k pohybu. Těchto bičíků jsou na jedné buňce stovky. Jsou vysoce antigenní. Druhý typ se nazývá sex pilli a slouží při konjugaci.

Vnější membrána je pokryta liposacharidem a je složena z lipidové dvojvrstvy, kde je uloženo velké množství membránových proteinů. Mezi které patří poriny, které mají funkci transportních kanálů mezi vnitřním a vnějším prostředím. Těmito kanály jsou přemísťovány metabolity či vitamíny. V periplazmatickém prostoru se vyskytují proteiny vázající aminokyseliny, cukry či enzymy degradující antibiotika.

Buněčná stěna je tvořena tenkou vrstvou peptinoglykanu, který udává rigidní tvar buňky. Cytoplazmatická membrána se skládá z proteinů (70%), liposacharidů a fosfolipidů.

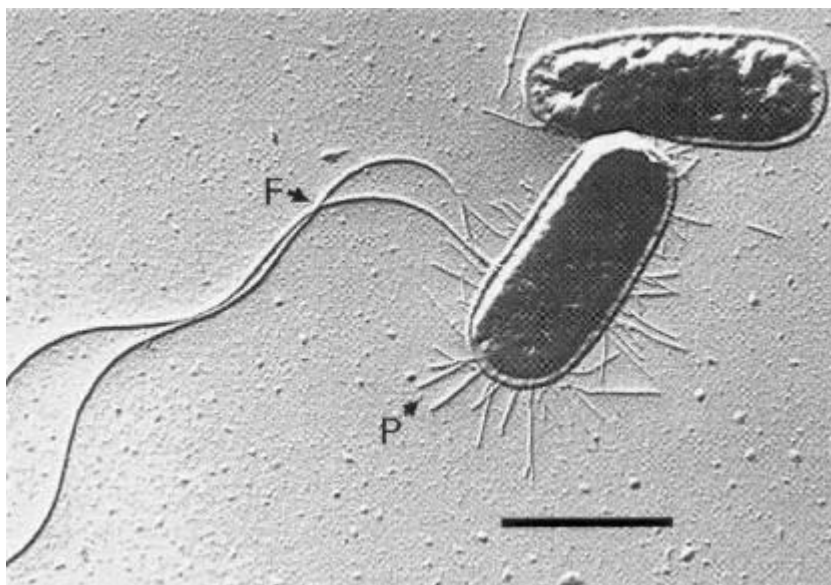
Cytoplazma bakteriální buňky je viskózní vodný roztok obsahující rozpuštěné organické i anorganické látky. Obsahuje velké množství rybozomů, díky níž je umožněna rychlá proteosyntéza a dělení buňky.

Escherichia coli je fakultativně anaerobní chemoheterotrofní bakterie, což znamená, že k metabolismu podmíněně nepotřebuje kyslík a využívá kvasný metabolismus (fermentace). Je schopna využít jako zdroj energie mnoho aminokyselin, ale nejrychlejší růst vykazuje na glukose. Bez přítomnosti kyslíku ji zpracovává za vzniku laktátu či ethanolu. Za aerobních podmínek je glukóza rozštěpena až na oxid uhličitý a vodu.

Doba vývoje jedné generace je za ideálních podmínek asi 20 minut. Ideální teplota pro tuto bakterii je 37°C, ale přežívají v teplotách v rozmezí od 8°C do 48°C. Bakterie přežijí při koncentraci pH od 4,3 do 9,5 při čemž ideální pro ně je rozmezí 6,0 - 8,0.

Z lékařského hlediska se využívala *Escherichia coli* například při výrobě inzulinu. Bakterie byla pro tento záměr geneticky modifikována. Jiné produkty rekombinantní bakteri jsou například interferony alfa, gama, interleukin-2, lidský růstový hormon, aminokyseliny jako L-valin a další. Jako konečný produkt se k nám dostaly ve formě léčiv rekombinantní hormony jako parathormon či kalcitonin. *Escherichia coli* stojí také za vakcinou proti lymské borelióze v USA. Další její využití, krom již zmíněných, bylo při výrobě indiga (průmyslového barviva). Primárně se jako výchozí produkt používal indol, či aminokyselina L-tryptofan, ale díky rekombinované *Escherichia coli* se jako výchozí produkt mohla používat glukosa. Výhoda byla v ekologické nezávadnosti.

Pokud se *Escherichia coli* vyskytuje mimo fyziologicky určené místo, ve střevech organismů jako součást střevní mikroflóry, působí patogenně. Při výskytu v krvi může být příčinou bakterémie. Často způsobuje nasokomiální infekce, jejichž léčba je řešena antibiotiky. Vzhledem k tomu, že má *Escherichia coli* krátkou generační dobu, může se u ní velice rychle vyvinout rezistivita na antibiotika.

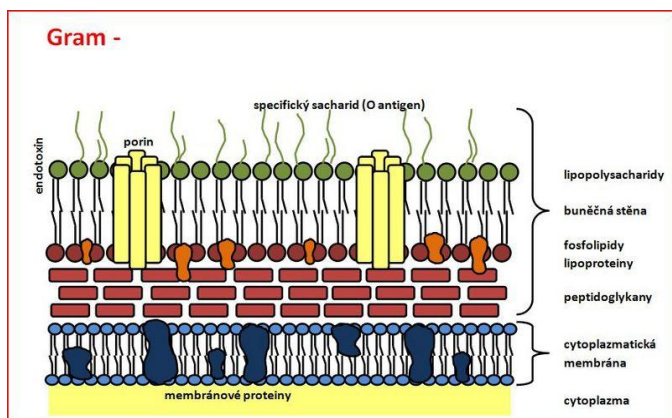


Obrázek 5 : *Escherichia coli* pod mikroskopem [7]

3.1 Gram negativní bakterie

"Stěna gramnegativních bakterií se skládá z tenké vrstvy peptinoglykanů bez teichovoové kyseliny a z tzv. vnější membrány, jež obsahuje fosfolipidy, strukturní i enzymové proteiny, lipoproteiny a liposacharidy. Mezi vnější membránou a peptinoglykanovou vrstvou je tzv. periplazmatický prostor. Některé lipoproteiny tvoří výběžky směrem k peptinoglykanové vrstvě a jsou s ní spojeny kovalentní vazbou. Ve fosfolipidové vrstvě jsou hydrofilní tunely (póry), tvořené triméry bílkoviny zvané póriny. Tyto póry zasahují přes periplazmatický prostor až k peptinoglykanu, k němuž je póriny pevně vázán."

Díky lipidům v jejich stěně jsou odolnější vůči aniontovým povrchově aktivním látkám, jako jsou mýdla, žlučové kyseliny, alkylsulfáty a další. Odolnost vůči žlučovým kyselinám umožňuje výskyt bakterií ve střevním traktu savce. Toho se využívá v praxi na selektivních živných půdách pro stanovení bakterií v potravinách či vodě.



Obrázek 6 : Stěna gram negativních bakterií [8]

3.2 Vliv magnetického pole na *Escherichia coli*

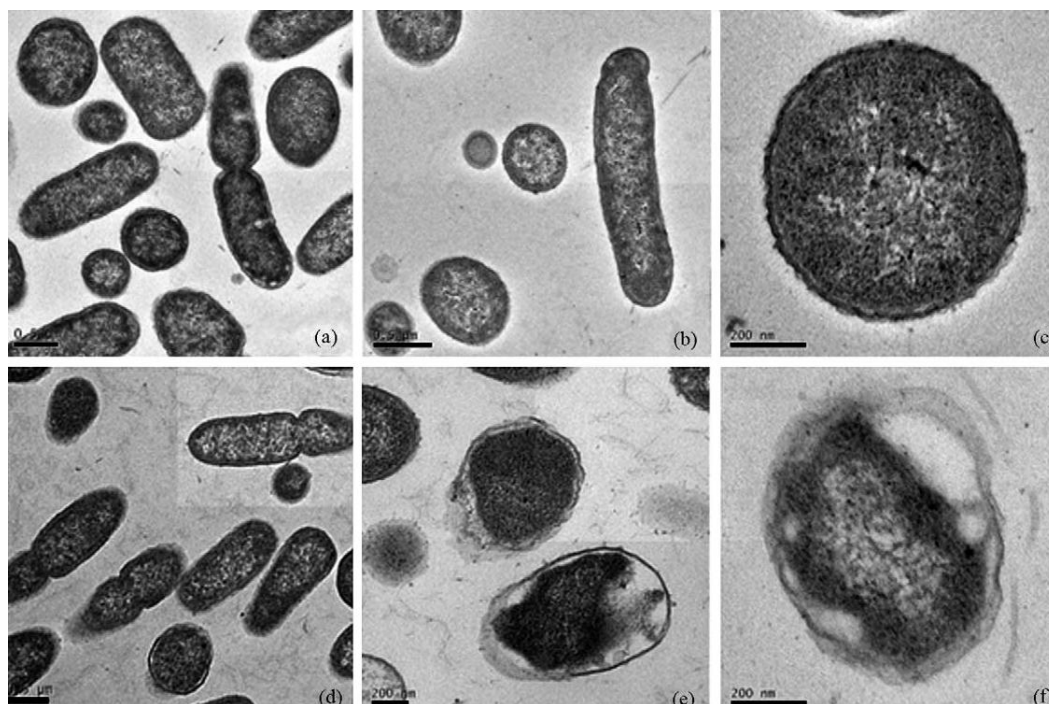
Biologický efekt nízkofrekvenčního pole na organismy byl již mnohokrát studován, ale vliv statického magnetického pole (static magnetic field-SMF) zřídka kdy, s nejednoznačnými výsledky a závěry. Předmětem studií bývají buňky, tkáně či celé organismy k otestování životaschopnosti, proliferaci, otestování enzymů, transportu iontů či zkoumání přepisu genetické informace. Magnetické pole bychom si z biologického hlediska mohli rozdělit na slabé ($<1\text{mT}$), střední ($1\text{mT}-1\text{T}$), silné ($1\text{T}-5\text{T}$) a extrasilné ($>5\text{T}$).

Vycházeli jsme především z vědeckých článků, které se touto problematikou zabývaly. Vědci se zabývali testováním životaschopnosti tvoření nových kolonií (colony forming unit- CFU) *Escherichia coli*, která byla vystavena SMF různé intenzity a doby expozice. Závěr byl takový, že s delší dobou expozice magnetu a s rostoucí teplotou byla tato schopnost nižší.

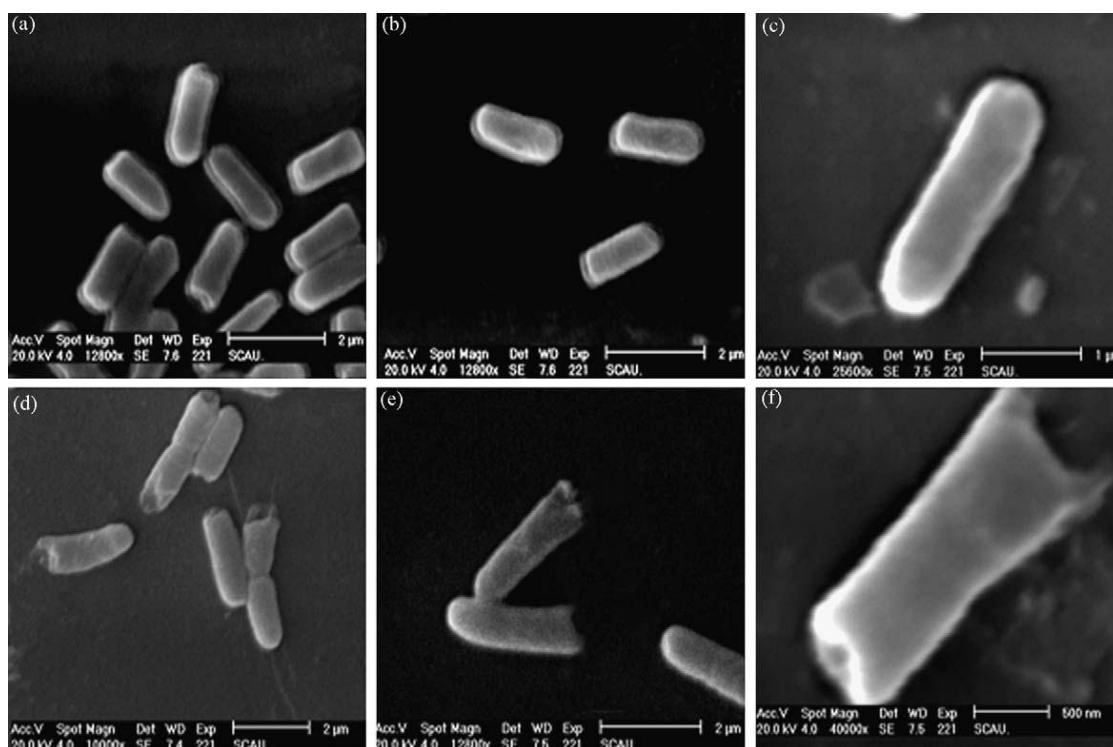
Relativní počet CFU je definován jako počet CFU, které byly vystaveny magnetu vůči počtu CFU, které magnetu vystaveny nebyly. Došli k závěru, že CFU se exponenciálně snižovala s dobou expozice a s delší dobou expozice se zpomaloval i klesající trend. Z tohoto by se dalo usuzovat, že SMF negativně ovlivňuje růst a množení bakterií, nebo že dokáže zahubit velké množství bakterií v počáteční dobu expozice. Následně se relativní počet CFU přestal snižovat. To lze připsat schopnosti adaptace na magnetické prostředí.

Při vyšších teplotách klesal index CFU. Z čehož lze usuzovat vyšší citlivost na magnetické pole při zvýšené teplotě. Robert Rosen vytvořil membránovou teorii. Dle této teorie má SMF vliv na živé organismy díky diamagnetickým vlastnostem fosfolipidové membrány. Přeorientování fosfolipidových molekul během expozice magnetického pole způsobí deformaci iontových kanálů, které jsou v membráně obsaženy, čímž se změní jejich aktivační kinetika. Vyšší teplotou vybudíme uhlovodíkové řetězce k rotaci, čímž dojde k přeorientování fosfolipidové membrány. Díky tomu má SMF větší vliv za zvýšené teploty.

Pro účely vyhodnocení byly buňky podrobeny TEM a SEM (transmisní elektronové mikroskopii, scan elektronové mikroskopii). Z obrázků je patrný rozdíl, mezi buňkami, které byly vystaveny SMF a které expozici nepodléhaly. Hladkost a celistvost buněk oproti deformaci jak tvarové tak strukturní. Nejvíce patrné je to na koncích buněk.



Obrázek 7 : TEM snímky, viditelné poškození na snímcích d, e, f, snímky a, b, c byly bez poškození, nebyly vystaveny SMF [9]



Obrázek 8 : Viz Obrázek 8, snímky SEM [9]

Rosenova teorie není jediná existující. Z dřívějších publikací se můžeme dozvědět také o teoriích zahrnujících mechanismus iontové interference, která bere v potaz vazbu iont-proteinových komplexu a možný vliv SMF. Další velmi rozšířenou je teorie, která bere v potaz vliv SMF na vznik volných kyslíkových radikálů, jež jsou velmi reaktivní a s největší pravděpodobností budou poškozovat buňky.

Pokud byla *Escherichia coli* vystavena nehomogennímu magnetickému poli, její viabilita značně poklesla v porovnání se životaschopností v homogenním magnetickém poli. Vliv expozice je také velmi odlišný v závislosti na fázi vývojového cyklu bakterií.

4 **Rhodococcus erythropolis**

Rod *Rhodococcus* se řadí mezi nokardioformní aktinomycety. Tyto bakterie netvoří výtrusy, jsou nepohyblivé, jejich stěna obsahuje silnou vrstvu peptinoglykanu, je gram pozitivní. Tvoří vlákna, která se po zamíchání rozpadají na kokovité buňky, které se opět rozrůstají na silně větvené mycelium.

Vyskytují se jak v půdě, tak i ve vodě, jsou klasifikovány jako jedny z nejdůležitějších průmyslově využívaných organismů. Studie prokázaly, že tyto organismy jsou chladnomilné a mezofilní (vyhovuje jim středně vlhké prostředí). Různé kmeny *Rhodococcus* obsahují enzymy, které provádějí biologicky významné reakce, jako je biodesulfurizace (snížení obsahu síry-například u uhlí) fosilních paliv, degradace polychlorovaných bifenyly (PCB) a využívají široké škály dalších organických látek jako zdroje energie, proto hrají důležitou roli v globálním měřítku při recyklaci uhlíku. Kromě toho se používá jako biokatalyzátor při zpracování fosilních paliv, bioaktivních steroidů či akrylamidů. Produkce dioxygenázy *Rhodococcus* pro degradaci PCB je stále důležitější pro výzkumníky při hledání způsobu degradace biologicky toxických látek. Schopnost *Rhodococcus* pro použití v bioremediatorech může mít zásadní význam pro dekontaminaci znečištěné půdy a vodních toků.

Některé druhy jsou schopny využívat alifatické i polycyklické uhlovodíky, nitrované aromatické sloučeniny, pyridin, steroidy, benzoát, tenzidy i některé pesticidy. Podílí se i na rozkladu ligninu a humovitých kyselin. produkují enzymy, které slouží pro transformaci xenobiotik .

Xenobiotika jsou syntetické toxické látky, které se do přírody dostaly záměrně, či jejich přetrvání v přírodě je delší než 15let, jako příklad můžeme uvést polychlorované difenyly (insekticid DDT) či různé pesticidy na bázi naftalenu, nepříznivě působí na celý ekosystém nebo mohou být karcinogenní za xenobiotika se nepovažují, pokud jejich perzistence nepřesáhne jedno vegetační období).

Polychlorovaný difenil se hromadí v biologickém materiálu- lipidech, v každém potravinovém řetězci jejich koncentrace vzroste zhruba 10x, takže člověk může mít v tkáních koncentraci těchto látek zhruba 1000 či 10000 násobek než je v půdě)

Xenobiotika jsou také herbicidy, fungicidy, detergenty a v určitém smyslu i ropa a její produkty. Mnohé xenobiotika (benzoáty, jeho estery, aniontové detergenty) jsou pro různé bakterie toxické, ale pro rod *Rhodococcus* mohou sloužit jako zdroj energie a uhlíku a mohou být rozloženy až v CO₂ či H₂O. Jiná xenobiotika jsou metabolizována jen za přítomnosti jiných uhlíkatých sloučenin a to ještě neuplně. V některých případech je bakteriální metabolit pro živočichy toxičtější než původní pesticid.

Rhodococcus nejprve metabolizuje aromatické podklady okysličováním aromatických kruhů, ze kterých vytvoří diol. Kruh je následně štěpen a metabolizován. Dříve byl *rhodococcus* používán při chemické syntéze indenu, předchůdce léku na AIDS.

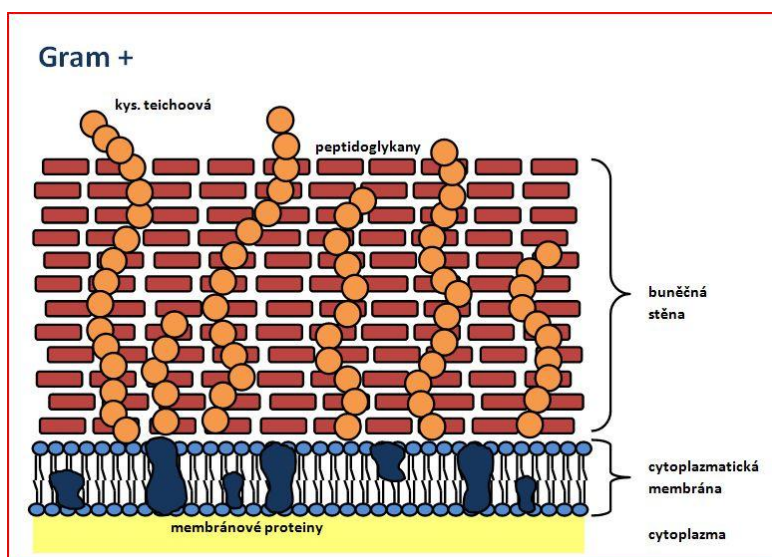
Rod *Rhodococcus* ještě není řádně prozkoumán a charakterizován. Proto může být spousta kmenů chybně zařazena mezi *rhodococcy* i přes to, že jsou používány při různých studiích.



Obrázek 9 : *Rhodococcus erythropolis* [10]

4.1 Gram pozitivní bakterie

"Hlavní složkou buněčné stěny grampozitivních bakterií je silná peptinoglykanová vrstva, která je jako tmelem vyplněna tzv. teichoovou kyselinou. Základem teichoové kyseliny je u některých bakteií polyglycerolfosfát, u jiných polyribitolfosfát. Teichoová kyselina je vázána kovalentní vazbou na muramovou kyselinu a představuje až 50% sušiny buněčné stěny grampozitivních bakterií."



Obrázek 10 : Stěna gram pozitivních bakterií [11]

5 Využití magnetického pole v průmyslu

Výzkumy vlivu magnetických polí na bakteriích průmyslového rozsahu nejsou rozšířené. Zkoumá se především vliv elektromagnetického pole, protože jeho výskyt je mnohem rozšířenější. Lže říci, že s ním přicházíme do kontaktu kdekoli. Ať se přepravujeme veřejnou hromadnou dopravou, tramvaje, trolejbusy, či kdekoli jinde, protože, tam kde se nachází zdroj elektrické energie, nachází se i magnetické pole.

Studie zaměřené na toto téma se zabývají především škodlivými vlivy těchto polí. Nejsou zaměřeny pouze na konkrétní druh mikroorganismů a nezkoumají celkový vliv polí. Zajímají se především o to, jaká je maximální možná hranice intenzit elektromagnetického pole, která nebude negativně působit na organismy. Hlavním objektem zkoumání je samozřejmě člověk a jedná se především o hygienické limity expozic, kterým může být vystaven například v zaměstnání.

Pokud se zaměříme pouze na magnetické pole a jeho aplikace v průmyslu, získáme informace a magnetických úpravách vody. Na toto téma bylo napsáno mnoho studií, ale vědci se neshodují na základních ani výsledných poznatcích. Studie si navzájem protirečí a jsou spíše vyvraceny než potvrzovány. Závěr z těchto poznatků je pouze takový, že se jedná spíše o způsob jak vydělat peníze, než upravit tvrdost vody a zlikvidovat bakterie.

Pokud by celkový výzkum potvrdil pozitivní vliv magnetického pole na námi použité mikroorganismy, znamenalo by to obrovský úspěch. Vyzkoumání vhodné intenzity magnetického pole spolu s ideální dobou působení by mohlo znamenat pro čističky odpadních vod neuvěřitelný přínos. Nemuselo by se investovat do drahých zařízení pro zefektivnění účinnosti. Stačilo by pouze vytvořit vhodné magnetizační zařízení.

Na bakterie by se působilo vhodnou intenzitou po správnou dobu a mohli bychom zrychlit jejich růst například na povrchu nanomateriálů. Nanomateriál by byl vhodný především z hlediska zvětšení povrchu pro biofilm, při zachování původní technologie. Zároveň bychom celkově urychlili zavedení nové technologie, protože nárůst biomasy by byl pozitivně ovlivňován a zrychlen. Pokud by došlo k nehodě, při které by byl biofilm či samo zařízení poškozeno, výměna a znovu zprovoznění by bylo také urychleno.

Praktická část

6 Námi sledované magnetické pole

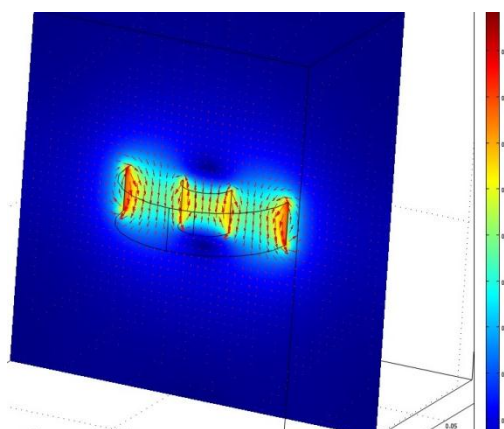
6.1 Permanentní magnety

Dnešní neodymové permanentní magnety, které jsou běžně k dostání dosahují magnetické indukce okolo 600mT těsně na povrchu. Problém je ten, že indukce výrazně klesá se vzdáleností od magnetu a není ve všech místech konstantní, nedosáhneme homogenního pole. Toho lze docílit několika úpravami. Například u pokusu s Petriho miskami se využilo toho, že byly magnety umístěné v jedné ose, póly k sobě tak, aby se přitahovaly a výsledná intenzita magnetické indukce tím byla zesílena.

Zesílení magnetického pole docílíme i tím, že umístíme několik magnetů na sebe. Jako ideální se jeví využití přípravku z vhodného materiálu, který bude uzavírat magnetické pole do sebe. Pokud bychom si znázornili siločáry, jeví by se nám jako uzavřený kruh procházející přípravkem. Viz dále.

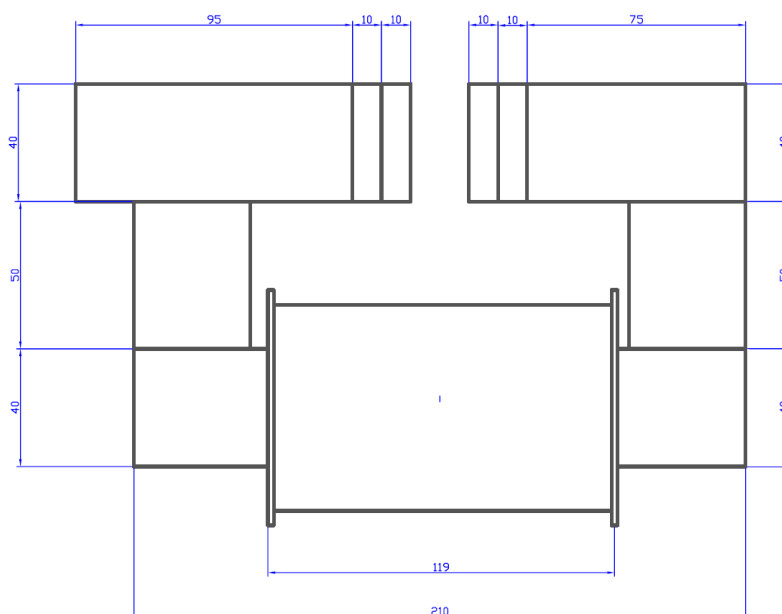
6.2 Petriho misky s magnety

Při výzkumech na *Escherich coli* byly magnety, krom jiného, umístěny přímo na Petriho miskách. Tento jednoduchý pokus byl používán z počátku k vytvoření představy o možném vlivu magnetického pole. Jeho intenzita se měnila vkládáním destiček mezi Petriho misky a magnety.



Obrázek 11 : Simulace pole magnetu (400mT), Comsol [13]

6.3 „podkova“

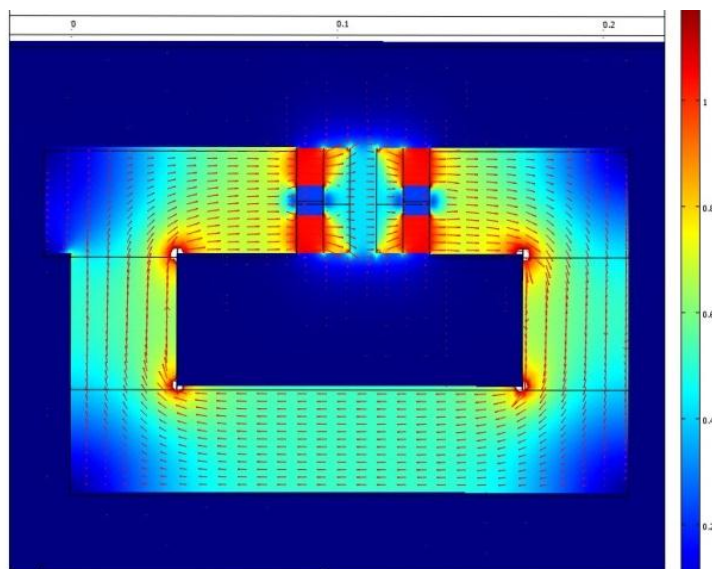


Obrázek 12 : „Podkova“ – ocelový přípravek pro zesílení a homogenizaci magnetického pole [13]

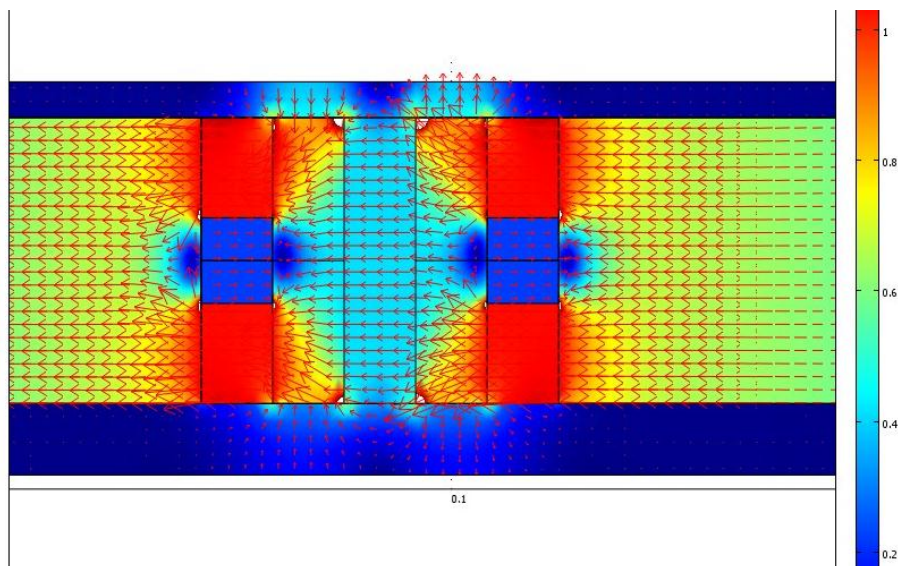
Zobrazený přípravek je vyroben z oceli. Slouží ke stahování siločar z okolí a jejich uzavírání do smyčky. V mezeře, která je na části přípravku, jsou umístěny permanentní magnety. Mezi ně byl umísťován vzorek a jak je vidět na obrázcích 13 a 14, hodnota magnetické indukce je téměř konstantní, díky tomu je vzorek vystavován ve své ploše stejné intenzitě magnetického pole. Jeho intenzitu lze měnit vzdáleností magnetů. Při mezeře 2 cm vznikne téměř homogenní magnetické pole o intenzitě 0,4 T.

Přípravek je navržen tak, aby magnetické pole nemuselo být tvořeno pouze permanentními magnety. Na další pokusy bylo počítáno s vytvořením válcové cívky. Při čemž by hlavní výhodou spočívala v plynulé regulaci intenzity magnetického pole pouze pomocí změny protékajícího elektrického proudu a možností toto pole v libovolných intervalech zapínat a vypínat.

Magnetické pole se po takovýchto úpravách velice obtížně analyticky počítá. Lze ho však simulovat pomocí metody konečných prvků (MKP), v našem případě pomocí softwaru COMSOL.

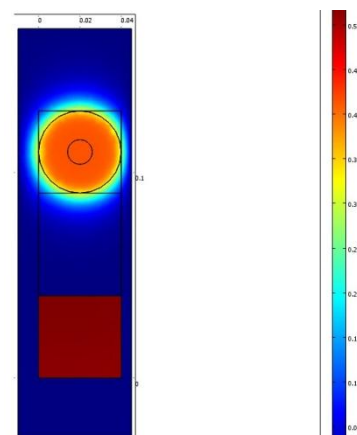


Obrázek 13 : Simulace magnetického pole, celkový pohled, Comsol [13]

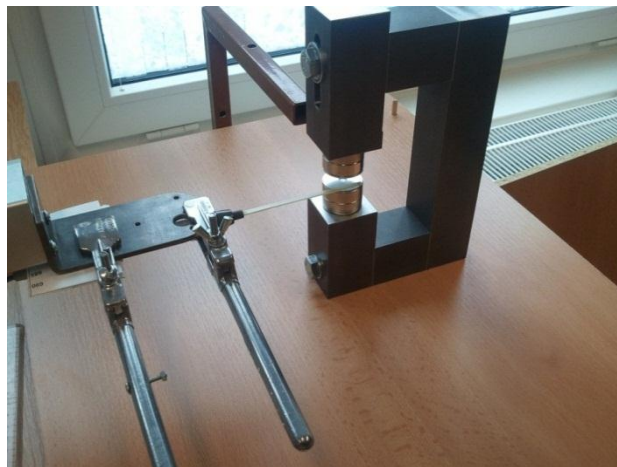


Obrázek 14: Simulace magnetického pole, detail, Comsol [13]

Obrázek 15 : Simulace magnetického pole, pohled z boku, Comsol [13] >

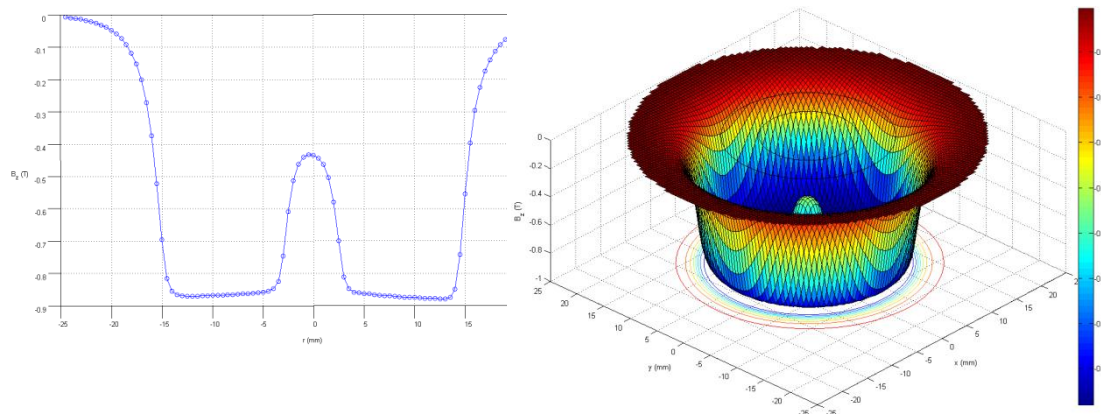


Ověření skutečné hodnoty magnetické indukce ve vzduchové mezeře lze provádět pomocí jednoosé sondy umístěné na 2d ramenu s posuvem v rovině. Toto rameno je automaticky ovládáno přes PC.



Obrázek 16 : Měření magnetického pole pomocí jednoosé sondy [13]

V tomto případě magnetická indukce byla měřena uprostřed vzduchové mezery (1cm). Z naměřených hodnot se pak zrekonstruovala mapa magnetické indukce pomocí softwaru MATLAB.



Obrázek 17 : Rekonstrukce mapy magnetického pole, Matlab [13]

7 *Escherichia coli* v praxi

První organismus, na kterém byl prováděn výzkum byla již zmíněná bakterie. Její uchovávání bylo prováděno na Petriho miskách na živném médiu, agaru. V našem případě na Tergitolu 7, jež je selektivní živnou půdou, rostou na ní pouze určité druhy organismu. Výhodou tohoto agaru je, že pokud je „čerstvý“ a plný živin, má zelenou barvu. V okamžiku, kdy jsou živiny vyčerpány, změní svoji barvu buď na modrou či žlutou. Zmodrání agaru je známkou toho, že produktem metabolismu bakterií jsou zásadité látky. V druhém případě se jedná o bakterie, které produkují kyseliny. V našem případě *Escherichia coli* se jedná o laktát, což je sůl kyseliny mléčné za anaerobních podmínek, za aerobních podmínek rozkládá živiny až na CO₂ a půda změní barvu na žlutou.

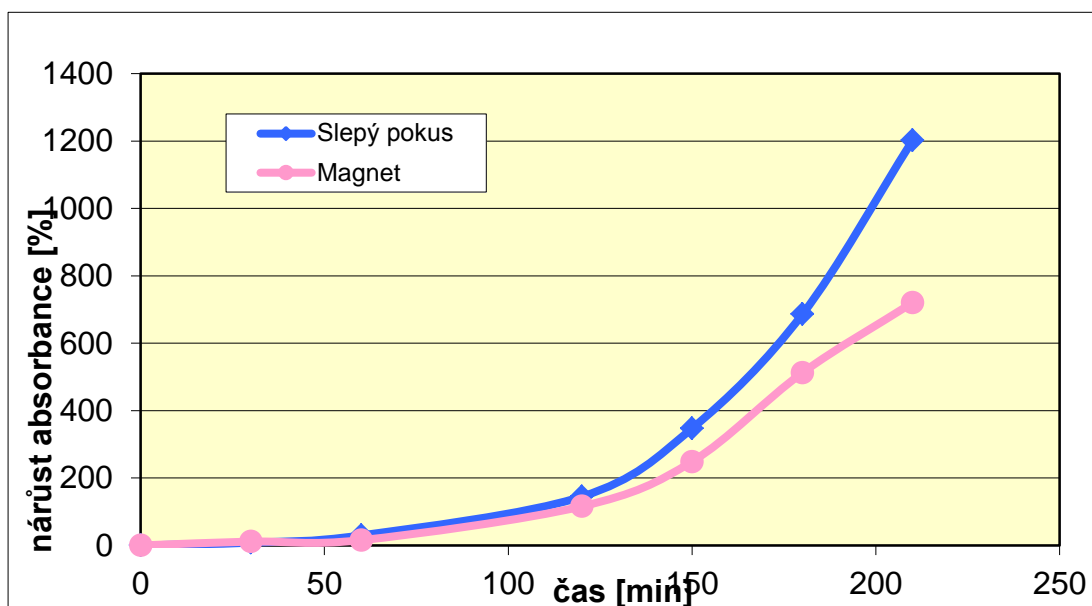
7.1 Odběr bakterií do baňky

K odběru bakterií z ploten jsme použili již sterilní a vychladlou kličku. Samotné kolonie *Escherichia coli* na kličce jsme rozptýlili v sojovém bujónu v Erlenmeyerově baňce, postup byl nastudován z knihy: Mikrobiologické praktikum, František Kaprálek, UK v Praze, Karolinum, r. 99. Kličkou se bakterie nanesou na stěnu baňky a postupně se vmývají do roztoku, abychom docílili dokonalého rozptýlení buněk a neutvořily se nám shluky. Na baňku se poté umístí zátka z hliníkové fólie, aby byla zajištěna sterilita a do baňky se nedostala cizí tělesa. Následně se na třepačce baňka řádně promíchá a je vložena do inkubátoru, kde je ohřáta na teplotu 37°C.

7.2 Vliv SMF na dynamiku růstu a množení buněk

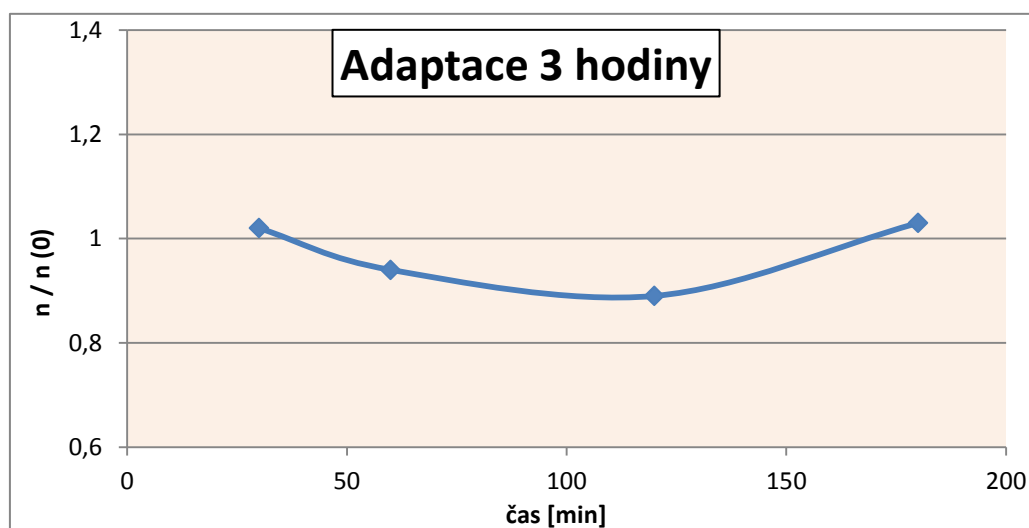
Snahou bylo zjistit, jakým způsobem ovlivňuje magnetické pole bakterie. Jejich růst, mortalitu a množení. Byly použity různé způsoby umístění magnetů, různé živné půdy a rozdílné intenzity magnetického pole.

V první řadě se sledoval vliv magnetického pole na celkové množství buněk v průběhu času. Bakterie *Escherichia coli* byly suspendovány v Erlenmeyerově baňce v kapalném mediu, sojovém bujonu. Baňka byla umístěna v inkubátoru při teplotě 37°C. Na obě strany baňky byly umístěny permanentní magnety, které vytvořili magnetické pole o intenzitě 30mT. V pravidelných intervalech byly z baňky odebírány vzorky, u kterých se vyhodnocovala optická densita na spektrofotometru. Tento způsob vyhodnocování byl vybrán vzhledem k tomu, že je ukazatelem objemu biomasy ve vzorku. Souběžně s odběrem vzorků, které byly ovlivněny magnetickým polem, byl prováděn slepý test. Z grafu je patrné, že magnetické pole o intenzitě 30mT mírně negativně působí na růst buněk



Obrázek 18: Graf 1: Vliv magnetického pole na množení bakteriální populace (30mT) [13]

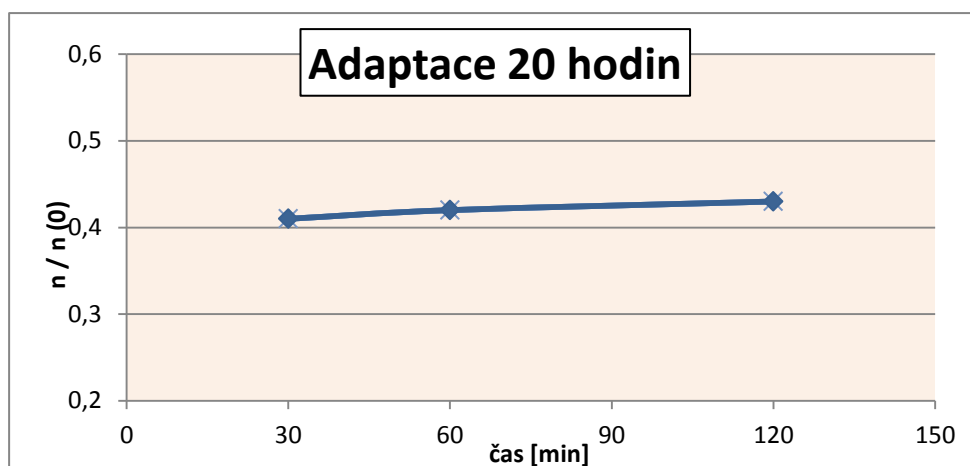
7.3 Adaptace bakterií



Obrázek 19 : Graf 2 : Adaptace bakterií po odstranění magnetického pole po 3 hodinách (30mT) [13]

Dalším krokem bylo sledování vlivu nehomogenního magnetického pole na počet živých buněk. Bakterie byly nejdříve adaptovány v inkubátoru po dobu 3 a 20 hodin. Následně byl bujón s adaptovanými bakterie rozdělen do několika zkumavek, ke kterým byly přiloženy permanentní magnety. Magnetické pole dosahovalo intenzity 250mT, při čemž vzorky mu byly vystaveny 30, 60, 120 a 180 minut při laboratorní teplotě 22°C. Z každé zkumavky byl po 180 minutách odebrán vzorek, naředěn a vyset na Petriho misky. Zbýlý sojový bujón byl uchován v termostatu a po 20 hodinách byly odebrány vzorky, které byly zpracovány stejným způsobem.

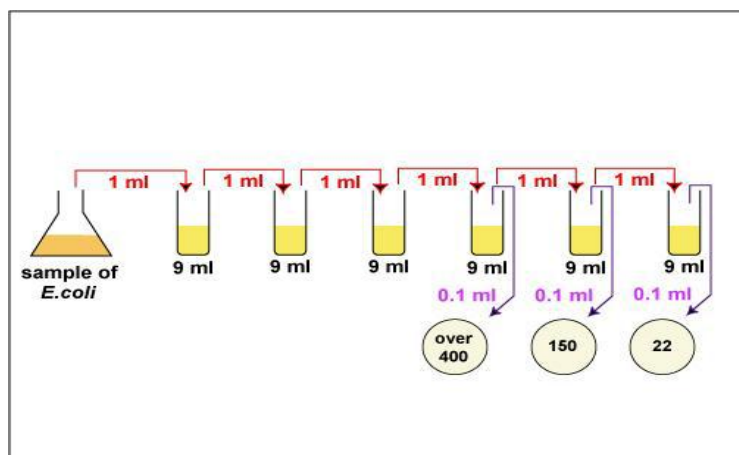
Výsledky testů neprokázali nijak významný vliv magnetického pole. Rozdíl mezi slepými vzorky a vzorky umístěnými v magnetickém poli je vzhledem k chybě měření zanedbatelné.



Obrázek 20 : Graf 3 : Adaptace bakterií po vyjmutí z magnetického po 20 hodinách [13]

7.3.1 Ředění

Z baňky odebereme 1ml původního vzorku a přidáme 9ml destilované vody, tím pádem máme první ředění. Druhé ředění provedeme tak, že odebereme 1ml již ředěného vzorku a přidáme 9ml destilované vody. Udělali jsme druhé ředění. Takto (1+9 ml) pokračujeme do požadovaného ředění. Každý vzorek před odebráním našeho 1ml musíme řádně protřepat, abychom kolonie rozptýlili a odebrali vzorek obsahující průměrné množství bakterií. Pokud tak neučiníme, může se nám stát, že na plotnu vysejeme část vzorku, který nebude obsahovat průměrnému množství mikroorganismů, nebo, ve špatném případě odebereme kapalinu, která nebude obsahovat žádné živé bakterie a na Petriho miskách nám nevznikne jediná kolonie.



Obrázek 21 : Postup při ředění vzorku [12]

7.3.2 Vysévání

Po naředění vzorku ve zkumavkách odebereme vhodné množství kapaliny (v našem případě 1ml) a vysejeme na plotnu. Poté sterilovanou hokejkou řádně rozptýlíme po celém povrchu misky. Pokud tak neučiníme řádně, vznikne nám jednolitá vrstva na větší ploše Petriho misky (obrázek 33). Poté misky umístíme dnem vzhůru, aby nedocházelo ke kontaminaci prostředí a k vysychání agaru. V našem případě celkem 16 Petriho misek. Vždy čtveřice, slepý test a vzorek ovlivněný magnety, páté a šesté ředění. Odběr vzorku v časovém horizontu 0 minut, 2 hodiny, 4 hodiny a 6 hodin při působení magnetu. Misky vkládáme společně do igelitového pytlíku a následně uložíme do termoboxu, kde dojde k následnému růstu bakterií, jež budou po cca 24 hodinách vyhodnocovány. Byly odečteny počty kolonií, jejich velikost a tvar, vytvořeny grafy a závěry.

8 Rhodococcus erythropolis v praxi

Jak bylo již zmíněno, tato bakterie byla vybrána díky svým degradačním schopnostem ekologických polutantů.

Tyto bakterie byly uchovávány, množeny a zkoumány na kapalných mediích. Jako hlavní zdroj „potravy“ jim bylo dodáváno BSM mediu a fenol. Fenol byl vybrán, protože ho Rhodococcus zpracovává a my jsme schopni měřit jeho koncentraci při odebrání malého množství kapaliny. Pro toto měření jsme používali spektrofotometr a fenolové testy. Druhým zkoumaným markerem byla absorbance kapaliny, ve které byly rozptýleny tyto bakterie. Celkové množství buněk, jak živých tak mrtvých, v suspenzi živného média. Samotný zásobní roztok s bakteriemi byl uchováván na třepačce, aby nedošlo k usazení bakterií na dně a jejich následné zhoubě.

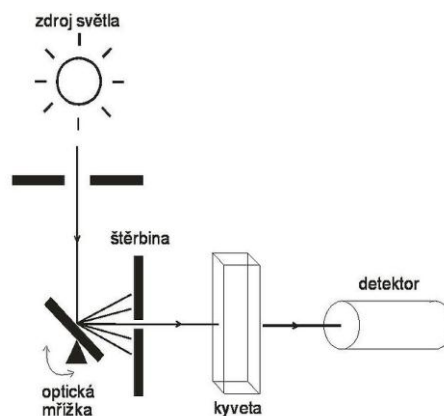
8.1 Spektrofotometrie

Princip spektrofotometru je relativně jednoduchý. Použijeme zdroj světla, pokud potřebujeme vlnovou délku v UV spektru, bude použita deuteriová žárovka. Světlo projde skrz optickou mřížku, jejímž nakloněním se docílí požadované vlnové délky. Na konci soustavy je detektor, ve většině případů fotodioda, která měří intenzitu záření, které vychází ze vzorku, porovná ho s kalibračním vzorkem, kyvetou naplněnou destilovanou, demineralizovanou vodou, a spočítá absorbanci.

Toto zařízení jsme také používali pro vyhodnocování koncentrace fenolu. Používali jsme fenolové testy, kdy jsme do kruhové kyvety, do které jsme dali malé množství aktivní látky č.1, přidali předepsané množství vzorku, nechali působit 2 minuty, poté přidali aktivní látku č.2 a nechali opět 2 minuty. Po 4minutách byl vzorek připraven na vložení do zařízení, které si načetlo čárový kód, nastavilo požadovanou vlnovou délku a provedlo proceduru měření. Poté nám na výstupní obrazovce vypsalo hodnotu koncentrace fenolu.

Obrázek 22 : Spektrofotometr – princip

[14] >



8.1.1 Odběr na spektrofotometr

Na spektrofotometr byl odebírán vzorek v množství 3ml. Při spektrofotometrii se vzorek dává do speciální hranaté kyvety, která má dvě protější stěny dokonale vyleštěné, protože jsou prosvicovány světlem o námi nastavené vlnové délce. Vzorek jsme nalili do kyvety, nastavili vlnovou délku a odečetli hodnotu z displaye. Vzhledem k množství vzorku jsme ho vraceli zpět do zkumavky, protože jsme měli k dispozici jen několik mililitrů tekutiny s bakteriemi. Tato procedura byla provedena jak u slepého vzorku, tak u vzorku umístěného do magnetického pole.

Postup při měření koncentrace fenolu byl podle postupu popsaného výše. Jediné úskalí spočívalo v tom, že samotný vzorek obsahoval velké množství fenolu a byl mimo rozsah měření. Tudíž se muselo objevit adekvátní ředění vzorku destilovanou vodou, abychom se dostali do měřitelného rozsahu koncentrace.

Tyto hodnoty jsme měřili u čerstvých vzorků a také u vzorků po odstranění magnetického pole, abychom zjistili, zda li to na ně mělo dlouhodobý efekt. Adaptace vzorků po odstranění magnetického pole byla zkoumána pouze na absorbanci.

8.2 Práce se vzorky Rhodococca

Práce v laboratořích s bakteriemi Rhodococca byla považována za nebezpečnou a musely být dodržovány základní bezpečnostní pokyny jako je nošení rukavic, popisování vzorků a další. Především kvůli toxicitě fenolu. Odběry a většina měření probíhala v chemické laboratoři. Odběr se prováděl každé ráno, přibližně ve stejnou dobu. Byly odebrány vzorky k absorbanci a provedeny testy na koncentraci fenolu ve vzorcích.

8.2.1 Koncentrace fenolu (intenzita pole 80, 370mT)

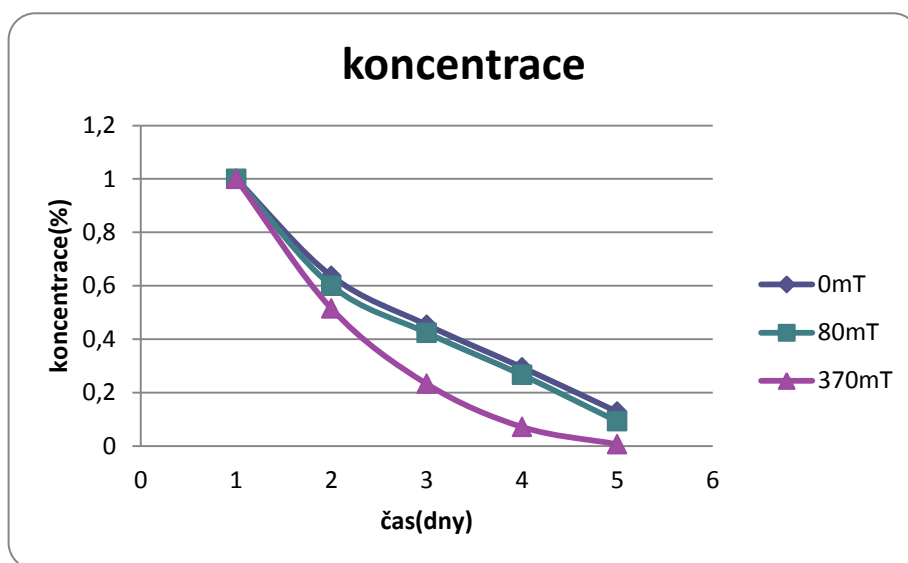
Za dobu, co jsem na projektu pracoval byla nasbírána data u čtyř různých intenzit magnetického pole. U všech byly prováděny slepé testy pro možnost porovnání. Z dat byly vytvořeny grafy pro lepší interpretaci měření.

Vzorky odebírané k provedení fenolových testů měly jeho koncentraci příliš vysokou. Zařízení ji nebylo schopno změřit. Proto bylo nutné vzorky nejdříve naředit, aby obsahovaly změřitelné množství této látky. Zaznamenávali jsme si změřenou koncentraci a poté ji dopočítávali. V následujících grafech je znázorněna koncentrace fenolu v postupu pěti dní, kdy byly vzorky vystaveny magnetickému poli.

Z grafu je patrné, že je minimální rozdíl mezi slepým vzorkem a nižší intenzitou magnetického pole, 80mT. Z čehož lze ihned vyvodit závěr, že nízká intenzita magnetického pole nijak závažně nepůsobí. U vyšší intenzity magnetického pole, 370mT, je viditelné, že měl pozitivní vliv. Můžeme předpokládat ovlivnění metabolismus bakterií a snížení koncentrace fenolu díky jeho zvýšené konzumaci.

Druhým východiskem by mohlo být ovlivnění množení bakterií. Tím by se vysvětlila celá křivka. Magnetické pole ovlivňuje bakterie při množení, které zrychluje. Poté jejich zvýšené množství má i zvýšenou konzumaci fenolu.

Pro ověření tohoto pozitivního trendu by muselo být zajištěno velké množství zásobního roztoku s fenolem, protože ho bakterie po několika dnech spotřebovaly téměř všechny. Velké množství roztoku by bylo potřeba kvůli tomu, že v okamžiku přidání „živin“ v podobě fenolu zahyne část bakterií. Fenol je toxický i pro ně. V tomto případě bychom postrádali možnost testovat absorbanci, která nám dává informaci o množství buněk ve vzorcích.



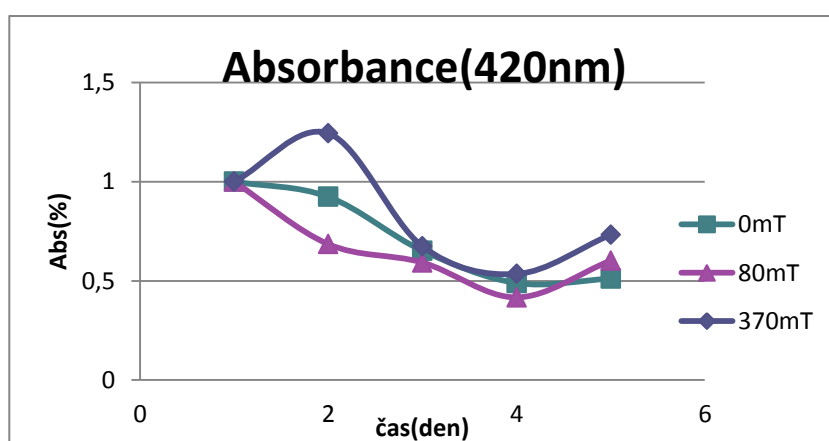
Obrázek 23 : Graf 4 : Koncentrace fenolu ve vzorcích (0, 80, 370mT) [13]

8.2.2 Absorbance (intenzita pole 80,370mT)

Absorbance nám ukazuje, kolik je v kapalině rozptýlených částic. Buněk živých i mrtvých, vzhledem k částečné nerozpustnosti fenolu ve vodě i částčky fenolu. Odebraný vzorek byl vždy trochu zakalený. Vyskytovaly se v něm všechny zmíněné složky.

Při porovnání grafu absorbance a koncentrace fenolu se nabízí odpověď, že je to opravdu rychlým pomnožením buněk. Vyšší počet buněk ve vzorku by vysvětloval zvýšení absorbance. A zároveň větší počet bakterií má větší konzumaci fenolu, což vysvětluje pokles křivky na grafu koncentrace.

Pokud bychom předpokládali trend zvyšující se absorbance a snižující se koncentrace fenolu v případě velkého množství zásobního roztoku, lze konstatovat, že magnetické pole o intenzitě 380mT pozitivně ovlivňuje degradaci fenolu za použití bakterie rodu *Rhodococcus*.



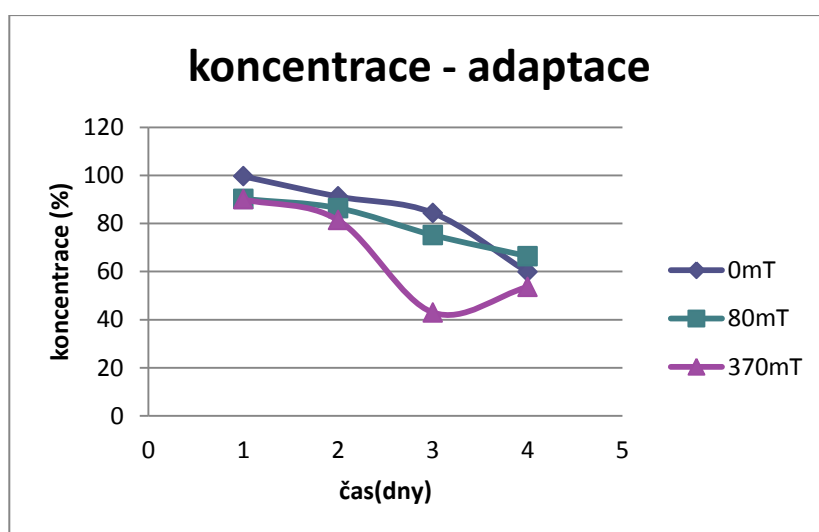
Obrázek 24 : Graf 5 : Absorbance ve vzorcích (0, 80, 370mT) [13]

8.2.3 Adaptace – koncentrace fenolu - po vyjmutí z magnetického pole (intenzita pole 80, 370mT)

Vzhledem k tomu, že bakterie za pár dní spotřebovaly téměř všechnen fenol, museli jsme jim nějaký dodat. Poté byla změřena jeho koncentrace a z naměřených dat vytvořen graf.

Opět vidíme velkou podobnost mezi křivkou nízké intenzity magnetického pole a slepým vzorkem. U křivky vyššího magnetického pole lze předpokládat chybu měření, kterou způsobil lidský faktor. Protože je nemožné aby následující den měření měl vyšší koncentraci fenolu než předchozí. Lze usoudit, že po odstranění magnetického pole je schopnost degradace fenolu bakteriemi stejná, jako kdyby na ně magnetické pole předtím nepůsobilo.

Zajímavé je, že vzorek, který nebyl vystaven magnetickému poli projevuje vyšší schopnost degradace fenolu, než vystavené vzorky. Lze to připisovat faktu, že bakterie ve „stresu“ proměnlivých podmínek a lépe snesly přidání fenol.



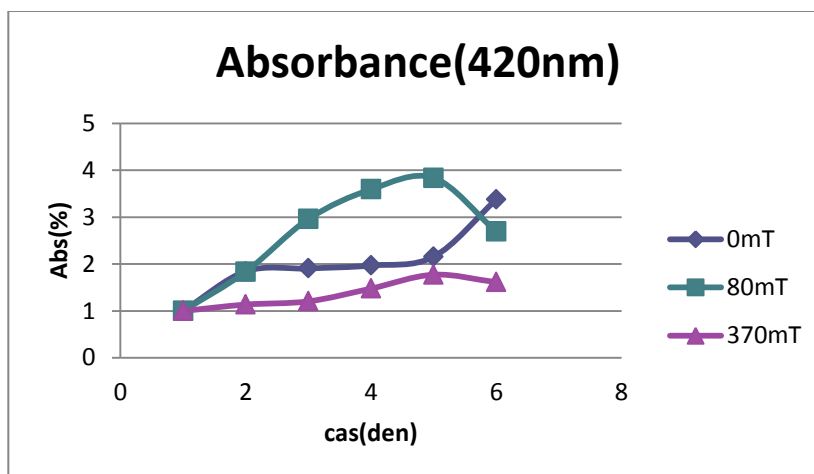
Obrázek 25 : Graf 6 : Koncentrace fenolu (adaptace, 0, 80, 370mT) [13]

8.2.4 Adaptace – absorbance – po vyjmutí z magnetického pole (intenzita pole 80, 370mT)

Při porovnání grafů absorbance a koncentrace fenolu lze usoudit, že bakterie nižší intenzity byly přidáním „živin“ částečně usmrceny a to vedlo ke zvyšující se absorbanci. Některé buňky se množily, ale přibývaly mrtvé, které nikdo nekonzumoval, a tím pádem rostla absorbance.

U vzorku, který byl vystaven vyšší intenzitě magnetického pole lze předpokládat dobrou adaptaci s tím, že další generace již nenesou známky ovlivňování předchozích generací magnetickým polem. Zdá se, že jejich konzumace fenolu je konstantní a počet buněk roste.

U slepého vzorku je viditelný nárůst absorbance druhý den po přidání fenolu. Jak již bylo zmíněno, připisuji to usmrčení buněk. Ale jejich absorbance se poté ustálila a následně rychle stoupla. Při porovnání s grafem koncentrace fenolu musíme konstatovat, že bakterie se rozmnožili a mají lepší životaschopnost než ostatní vzorky.



Obrázek 26 : Graf 7 : Absorbance u vzorků (adaptace, 0, 80, 370mT) [13]

8.2.5 Koncentrace fenolu (intenzita pole 20, 210mT)

Při dalších pokusech byla intenzita magnetického pole změněna, abychom prozkoumali co nejširší škálu.

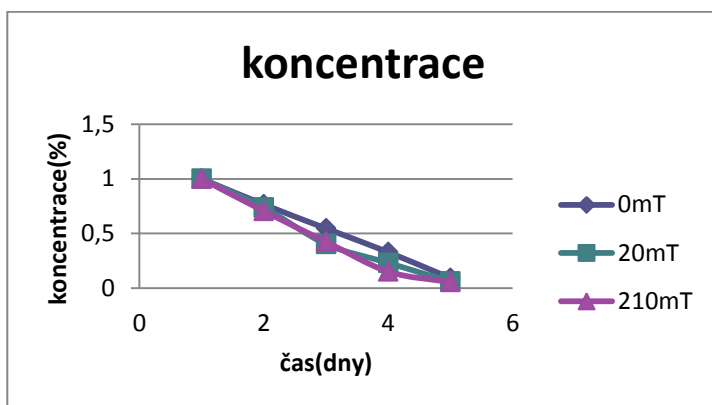
Z těchto testů vyplývá, že použitá magnetická pole mají mírně pozitivní vliv na bakterie, při konzumaci fenolu. Po několika dnech byl opět veškerý fenol spotřebován a bakterie neměly z čeho získávat energii.

Při porovnání křivek 0mT a 210mT u absorbance lze vidět relativně vysoký rozdíl. Zdá se, že v prvotní fázi po přidání bakterií do nového média má negativní vliv na jejich viabilitu. Bakterie se kromě vysoké koncentraci fenolu musí vypořádat i s vlastnostmi magnetického pole, které na ně působí. V tomto případě je pokles koncentrace fenolu relativně shodný. Lze předpokládat, že u vzorku na které působilo magnetické pole o indukce 210mT způsobilo větší úmrtnost těchto mikroorganismů.

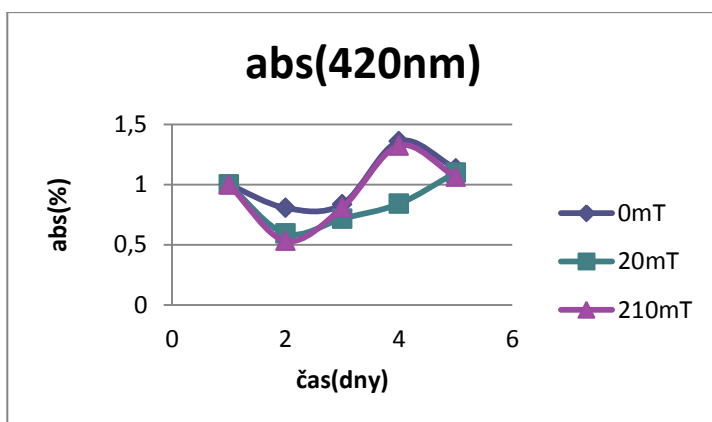
Následující dny bylo u všech vzorků zaznamenáno zvýšení absorbance, bakterie se začaly množit. Čtvrtý den u vzorku s magnetickým polem o indukci 20mT lze předpokládat chybu měření. Ačkoli tento den měly zbylé vzorky téměř shodnou absorbanci, koncentrace fenolu klesala rychleji u vzorku, na které působilo magnetické pole.

Závěr je stejně nejednoznačný jako u předchozích měření. Musí se navrhnout řešení problému, které bude ve větším měřítku a bude zabezpečeno dostatečné množství fenolu v roztoku pro několik dní, či týdnů. V tom případě se dojde k jednoznačnějšímu výsledku a působení magnetického pole by se mohlo využít v čističkách odpadních vod.

Hlavním problémem dodání živin ve formě fenolu je v jeho toxicitě. Po přidání čistého fenolu je mnoho bakterií zahubeno. V našem případě bakterie dosáhly exponenciální fáze růstu kolonií a fenol byl téměř vyčerpán.



Obrázek 27 : Graf 8 : Koncentrace fenolu (0, 20, 210mT) [13]



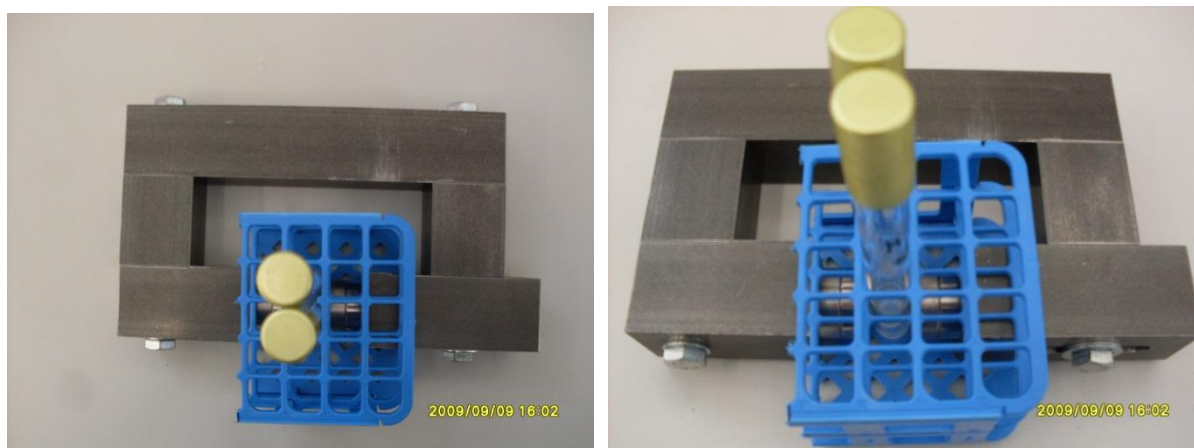
Obrázek 28 : Graf 9 : Absorbance (0, 20, 210mT) [13]

8.3 Rhodococcus na plotnách

Roztok, ve kterém byl *Rhodococcus* rozptýlen byl odebírán v intervalu 0, 2, 4 a 6 hodin po působení magnetického pole. Na následujících obrázcích je názorně ukázáno, jak byly vzorky umístěny v přípravku a slepé vzorky mimo dosah magnetického pole.

Vzorky byly naředěny a vysety na plotny, umístěny do inkubátoru a po 24 hodinách zkoumány. Bakteriální kolonie se spočítaly ručně.

Závěr tohoto pokusu byl takový, že krátkodobý vliv magnetického pole nelze vzhledem k chybě měření nijak prokázat či vyvrátit.



Obrázek 29 : Umístění vzorků v „podkově“ [13]



Obrázek 30 : Umístění slepých vzorků [13]



Obrázek 31 : *Rhodococcus erythropolis*, 6.ředění, slepý test, 360 min [13]



Obrázek 32 : *Rhodococcus erythropolis*, 6.ředění, vliv magnetu test, 120 min [13]



Obrázek 33 : Příklad špatně rozmíchaného vzorku při vysévání [13]

9 Použitá zařízení

- a) **Třepačka**- Zařízení určené k umístění nádoby s kapalinou a jeho pomalému a dlouhodobě trvajícimu promíchávání
- b) **Vortex**- Zařízení sloužící k rychlému promíchání kapalného obsahu baněk, zkumavek a jiných nádob
- c) **Mikropipeta**- Slouží nabírání kapalinových vzorků, buď skleněné, u kterých se k nasátí využívá podtlak vytvořený ústy nebo mechanické s nastavitelným a přesným objemem nabírané kapaliny, různé velikosti a špičky na jedno použití
- d) **„podkova“**- Zařízení, které umožnilo homogenizaci a zesílení magnetického pole při našich výzkumech
- e) **Magnety**- Neodymové magnety, které mají magnetická indukci kolem 600mT přímo na povrchu, Pro naše výzkumy byly použity magnety Unimag N42
- f) **Zkumavky**-Různé velikosti s možností zazátkování
- g) **Petriho misky**- Plastové Petriho misky
- h) **Erlenmeyerova baňka**
- i) **Spektrofotometr**- Zařízení ke zkoumání absorbance a koncentrace fenolu
- j) **Fenolové testy**- Dvousložkové testy do spektrofotometru
- k) **Živná média**- Půdy pro rozvoj bakterií
- l) **BSM**- bacterial standart medium – 0,8% Pepton, 0,1% Glukoza, 0,1% hovězí extrakt, 0,1% drožd'ový extrakt
- m) **Fenol**- Kyselina karbolová, krystalická, jedovatá, bezbarvá látka

n) ***Tergitol 7*** – Heptadecylsulfát sodný, proteózový pepton 5,0 g/l,
kvasničný extrakt 3,0 g/l, laktóza 10,0 g/l, heptadecylsulfát
sodný 0,1 g/l, bromthymolová modř 0,025 g/l, agar 15,0 g/l,
citrát železito - amonný 0,5 g/l, disiřičitan disodný 0,5 g/l

10 Závěr

Lze konstatovat, že vytyčené cíle byly dosaženy. Byla otestována schopnost adaptace *Escherichia coli* po odejmutí magnetu, vliv magnetů na její životaschopnost a množení. *Rhodococcus erythropolis* byl otestován a sledován pod vlivem magnetického pole i po jeho odstranění. Zkoumal se vliv na degradaci fenolu za obou podmínek. Zmapovali jsme magnetické pole tvořené permanentními magnety jak samotných, tak ve speciálním přípravku.

Magnetické pole bylo zmapováno pomocí hallové sondy. Získané informace následně byly následně upraveny v softwaru Matlab a porovnány se simulacemi vytvořenými v softwaru Comsol. Použité magnety byly typu Unimagnet N42, které vykazovali magnetické pole o intenzitě 0,6mT těsně na povrchu.

Testy na bakteriích *Escherichia coli* byly prováděny v kapalném médiu v Ehrlenmeyerově baňce. Poté vysety na Petriho misky a kolonie počítány ručně. Ze získaných hodnot vytvořeny grafy. Tato bakterie byla vhodná z hlediska rychlého množení a schopnosti se přizpůsobit změnám vnějších podmínek.

Vzhledem k hlavnímu záměru projektu, zefektivnit čištění odpadních vod, byla vybrána bakterie *Rhodococcus erythropolis*. Díky svým vlastnostem a schopnostem degradace biologických polutantů. Měřili jsme její schopnost zpracovávat fenol pod vlivem magnetického pole i mimo něj. Sledovali jsme degradaci fenolu ve vzorcích i po odstranění působení magnetického pole. Vyhodnocovali jsme optickou densitu, celkové množství pevných částic v kapalném vzorku, pomocí spektrofotometru. Koncentraci fenolu ve vzorcích jsme vyhodnocovali pomocí fenolových testů, také pomocí spektrofotometru.

Bohužel výsledky našich testů jsou nejednoznačné, jako většina vědeckých studií, ze kterých jsme čerpali. Sice jsme si utvořili představu o vlivu magnetického pole na životaschopnost bakterií, ale nelze vystavit jednoznačný závěr. Tato práce byla pouze dílčím úkolem a pro jednoznačné rozhodnutí a zjištění nejlepších možných podmínek aplikace magnetického pole je potřeba ještě mnoho testů a opakování.

Soupis bibliografických citací

1. Šilhánková, L.; *Mikrobiologie pro potravináře a biotechnology*, 3rd ed.; Academia: Praha, 2002

2. Sborník přednášek; *Vliv elektromagnetických polí na organismy*; ČVTS - FEL: Praha, 1977
3. Sedlák, B.; Štoll, I.; *Elektřina a magnetismus*; Academia: Praha, 2002
4. Kato, M.; , Ed. *Electromagnetics in biology*; Springer: Hicom, Japan, 2006
5. Mikolada, T.; Richter, A.; *Hallův jev, hallový senzory a jejich aplikace*; Technická univerzita v Liberci: Liberec, 2006
6. Haňka, L.; *Teorie elektromagnetického pole*; SNTL: Praha, 1975
7.
http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni_magnety.pdf,
8. *Static field* [online]; World health organization: Switzerland, 2006.
http://www.who.int/peh-emf/publications/EHC_232_Static_Fields_full_document.pdf
9. [online]; <http://www.youtube.com/watch?v=noGGcyPHtdI>
10. Wenjin, J.; Huimin, H.; Aihua, D.; Chunyang, P. Effects of static magnetic fields on Escherichia coli. *Micron* **2009**, (40), 894–898
11. Potenza, L.; Ubaldi, L.; et al. Effects of a static magnetic field on cell growth and gene expression in Escherichia coli. *Science Direct* **2004**, (561), 53–62.
12. Horáková, D. *Bioremediace* [online]; Masarykova univerzita: Brno, 2006.
http://is.muni.cz/elportal/estud/prif/ps06/3062932/bioremediace_FRVS_2006-2.pdf
13. Šilhánková, L. Buněčná stěna bakterií. *Mikrobiologie pro biotechnology a potravináře*, 3rd ed.; Academia: Praha, 2002; pp 33–34
14. Stansell, M.; Winters, W.; Doe, R.; Dart, B. Increased antibiotic resistance of E. coli exposed to static magnetic field. *Bioelektromagnetics* **2001**, (22), 129–137
15. Kohno, M.; Yamazaki, M.; kimura, I.; wada, M. Effecto of static magnetic field on bakteria Streptococcus mutans, Staphylococcus aureus, and Escherichia coli. *Pathophysiology* **2000**, (7), 143–148
16. Tsuchiya, K.; nakamura, K.; okuno, K.; Ano, T.; Shosa, M. Effect of homogenous and inhomogeneous high magnetic field on the growth of Escherichia coli. *journal offermentation and bioengineering* **1996**, 81 (4), 343–346
17. Hiriuchi, S.; ischizaki, Y.; okuno, K.; Ano, T.; Shosa, M. Drastic high magnetic field effect on suppression of Escherichia coli. *journal offermentation and bioengineering* **2001**, (53), 149–153

18. Strašák, L.; Vetterl, V.; Šmarda, J.; ; Effect of low-frequency magnetic field on bacteria *Escherichia coli*. *Bioelectrochemistry* **2002**, (55), 161–164

19. Carvalho, C. Adaptation of *Rhodococcus erythropolis* cells for growth and bioremediation under extreme conditions. *Research in microbiology* **2012**, (20), 1–12

Soupis obrázkových citací

[1]http://elektross.gjn.cz/magn_pole/magn_pole_civky.html

[2]<http://www.neomag.cz/cz/katalog/neodymove-magnety/>

[3]http://www.sinomag.cz/sinomag.cz/data/sinomag/downloads/Permanentni_magnety.pdf

[4]<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/296-magneticka-hystereze>

[5]<http://www.ndt.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Physics/HysteresisLoop.htm>

[6]Mikolada, T.; Richter, A.; Hallův jev, hallový senzory a jejich aplikace; Technická univerzita v Liberci: Liberec, 2006, str. 10, upraveno autorem

[7]http://numerocinqmagazine.com/wpcontent/uploads/2011/11/Escherichia_coli.jpg

[8]www.wikiskripta.eu/index.php/soubor:Gram_negativní.JPG

[9]Wenjin, J.; Huimin, H.; Aiuhua, D.; Chunyang, P. Effects of static magnetic fields on *Escherichia coli*. *Micron* 2009, (40), 894–898

[10]<http://www.sci.muni.cz/ueb/mik/Miniatlas/images/bakterie/mikro/reryt1.jpg>

[11]http://www.wikiskripta.eu/images/3/35/Gram_pozitivn%C3%AD.JPG

[12]<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0d/Spetrofotometr.jpg>

[13]Autor

[14]<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0d/Spetrofotometr.jpg>

